

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Programa de Pós-Graduação em Ciência Política (PPGPOL)

Etanol de Segunda Geração no Brasil: política e translações

Tese de Doutorado em Ciência Política

Aluno: **Bruno Rossi Lorenzi**

Orientador: **Thales Haddad Novaes de Andrade**

São Carlos – SP
2018

Bruno Rossi Lorenzi

**Etanol de Segunda Geração no Brasil:
política e translações**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência Política da Universidade Federal de São Carlos
para obtenção do título de doutor em Ciência Política.

Orientador: **Thales Haddad Novaes de Andrade**

São Carlos - SP
2018

Lorenzi, Bruno Rossi

Etanol de Segunda Geração no Brasil: política e translações / Bruno Rossi
Lorenzi. -- 2018.
186 f. : 30 cm.

Tese (doutorado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos,
São Carlos

Orientador: Thales Haddad Novaes de Andrade

Banca examinadora: Thales Haddad Novaes de Andrade, Marcelo
Coutinho Vargas, Camila Carneiro Dias Rigolin, Marko Synésio Alves
Monteiro, Rafael de Brito Dias

Bibliografia

1. etanol de segunda geração. 2. política energética. 3. teoria ator-rede. I.
Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Educação e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Ciência Política

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Bruno Rossi Lorenzi, realizada em 27/02/2018:

Prof. Dr. Thales Haddad Novaes de Andrade
UFSCar

Prof. Dr. Marcelo Coutinho Vargas
UFSCar

Profa. Dra. Camila Carneiro Dias Rigolin
UFSCar

Prof. Dr. Marko Synésio Alves Monteiro
UNICAMP

Prof. Dr. Rafael de Brito Dias
UNICAMP

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiro ao meu orientador, Thales Novaes de Andrade, que sempre me atendeu prontamente e dedicou a devida atenção à nossa pesquisa, e aos membros da banca que participaram da defesa desta tese, contribuindo com excelente observações e sugestões, tanto para este, quanto para futuros trabalhos.

Também ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Política da UFSCar (PPGPOL), que além de seu quadro docente e disciplinas excepcionais, sempre nos deram o devido apoio.

Por fim, a todos que me apoiaram de alguma forma nesse período. A meus pais, Silvana e Gilberto, que mesmo longe nunca deixaram de me apoiar, aos meus amigos e, em especial, à minha esposa e companheira, Athais Goulart, por todo suporte e carinho que sempre me deu.

Resumo

Essa pesquisa teve como objetivo fazer uma análise sociotécnica da rede de pesquisa, desenvolvimento e produção do etanol celulósico de cana-de-açúcar no Brasil. Para isso, utilizamos a teoria ator-rede para levantar quem são os principais atores envolvidos nessas pesquisas (empresas, instituições de pesquisa e financiamento, etc), as políticas imbricadas e as tecnologias ligadas ao desenvolvimento desse produto. Por meio desse levantamento, realizado através de pesquisa bibliográfica, análise documental e notícias, procuramos identificar e analisar os principais movimentos de translação dessa rede, como os interesses envolvidos, disputas, negociações, questões técnicas, entraves, desafios e as controvérsias ligados à produção, pesquisa e desenvolvimento do etanol de segunda geração. Ao mapear e relatar as iniciativas e as questões relacionadas ao tema, que atravessam tanto a produção de energia renovável quanto a ciência e tecnologia brasileira, tentamos demonstrar como o E2G ainda é uma caixa-preta aberta a associações e (in)definições. Com isso, esperamos poder contribuir com o debate atual sobre a política energética e a ciência e tecnologia nacional.

Palavras-chave: etanol celulósico; etanol de segunda geração; política energética; teoria ator-rede.

Abstract

This research aims to do a sociotechnical analyses of the research, development and production network of cellulosic ethanol from sugarcane in Brazil. To do this, we use actor-network theory to identify who are the main actors involved in these researches (companies, research and financing institutions, etc.), the overlapping policies and technologies related to the development of this product. Through this survey, carried out through bibliographical research, documentary analysis and interviews with the actors involved, we sought to identify and analyze the main translation movements of this network, such as the interests involved, disputes, negotiations, technical issues, obstacles, challenges and controversies related to the production, research and development of second generation ethanol. By mapping and reporting the initiatives and issues related to the theme, which cross both renewable energy production and Brazilian science and technology, we try to demonstrate how the E2G is still a black box open to associations and (in)definitions. With that, we hope to contribute to the current debate on energy policy and national science and technology.

Keywords: Cellulosic ethanol; second generation ethanol ; energy policy; actor-network theory .

Lista de siglas

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ANT	<i>Actor-network Theory</i>
ASMAE	Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia Elétrica
BA	Brasil Álcool
BBA	Bolsa Brasileira de Álcool
BIOEN	Programa FAPESP de pesquisa em Bioenergia
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBP	<i>Consolidated BioProcessing</i>
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCPE	Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos
CENAL	Comissão Executiva Nacional do Álcool
CEPEN	Centro de Estudos e Planejamento Energético
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CIMA	Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool
CNA	Comissão 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
CONDEPE	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
COOPIRA	Cooperativa Piracicaba de Usinas de Açúcar e Álcool
COPERESTE	Cooperativa de Usineiros do Oeste
Copersucar	Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São
CT	Fundo Setorial
CTA	Centro Tecnológico Aeroespacial
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
E1G	Etanol de primeira geração
E2G	Etanol de segunda geração
ENCTI	Estratégia Nacional para Ciência, Tecnologia e Inovação
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FAPs	Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IAA	Instituto de Açúcar e Álcool
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IPI	Imposto sobre Produto Industrializado
IPVA	Imposto sobre Veículos Automotivos

ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
LHW	<i>Liquid Hot Water</i>
MA	Ministério da Agricultura
MAE	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MIC	Ministério da Indústria e Comércio
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Ministério do Planejamento
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PACTI	Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação
PDE	Plano Decenal de expansão de Energia
Planalsucar	Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar
PNA	Plano Nacional de Agroenergia
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
PNE	Plano Nacional de Energia
ProÁlcool	Programa Nacional do Álcool
PTE	Programa Tecnológico do Etanol
RE-SEB	Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
SEPLAN	Secretaria de Planejamento
SHF	<i>Separate Hydrolysis Fermentation</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
SNA	Sociedade Nacional de Agricultura
SSCF	<i>Simultaneous Saccharification and CoFermentatio</i>
SSF	<i>Simultaneous Saccharification and Fermentation</i>
STI	Secretaria de Tecnologia Industrial
SUCROÁLCOOL	Associação Paulista da Agroindústria Sucrialcooleira
TAR	Teoria Ator-rede
TEP	Tonelada equivalente de petróleo
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
PAISS	Plano BNDES-Finep de Apoio à Inovação dos Setores Sucrenergético e Sucriquímico
CRE	Certificados de Redução de Emissões
CDBios	Créditos de Descarbonização
CBios	Créditos de Descarbonização
Brasilcom	Associação das Distribuidoras de Combustíveis
B10	Biodiesel 10%
B15	Biodiesel 15%
MP	Medida Provisória
PL	Projeto de Lei
GT	Grupo de Trabalho
RCE	Redução Certificada de Emissões
GEEs	Gases de efeito estufa
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
C&T	Ciência e Tecnologia

FTI	Fundação de Tecnologia Industrial
Famenquil	Faculdade Municipal de Engenharia Química
CTBE	Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol
CNPEM	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
PI	Patente de Invenção
BNDESPAR	BNDES Participações S.A
CTNBio	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
PBio	Petrobras Biocombustíveis
RIDESA	Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético

Sumário

1 - Introdução	12
2 - A Teoria ator-rede	20
2.1 - As origens da Teoria Ator-Rede	22
2.2 - A análise a partir da TAR.....	29
2.3 - Críticas à TAR e considerações finais	38
3 - O Setor sucroalcooleiro no Brasil: histórico e situação atual.....	45
3.1 - A criação da Copersucar e seu pioneirismo tecnológico.....	45
3.2 - O Proálcool	53
3.2.1 - As fases do Proálcool	54
3.2.2 - Controvérsias e translações do Proálcool	57
3.2.3 - Considerações finais a respeito do ProÁlcool	69
3.3 - A situação atual do setor sucroenergético	71
3.4 - Sistema de distribuição do etanol e concentração do setor	76
4 - O setor de energia e a rede sucroenergética	83
4.1 - As reformas no setor de energia e o papel das energias renováveis.....	83
4.2 - A bioeletricidade sucroenergética	89
4.3 - Etanol celulósico ou bioeletricidade?.....	97
5 - O Etanol celulósico: rede e translações.....	100
5.1 - Os actantes: rotas e atores não-humanos do E2G	100
5.2 - Políticas e programas da rede do E2G.....	113
5.2.1 - Os programas ministeriais e os Fundos Setoriais.....	113
5.2.2 - O BIOEN (FAPESP)	117
5.2.3 - O PAISS (BNDES-Finep).....	118
5.2.4 - O Renovabio.....	121
5.2.5 - Considerações a respeito dos programas e os Fundos Setoriais	129
5.3 - As iniciativas de pesquisa e produção de E2G no Brasil	132
5.3.1 - Iniciativas antigas.....	132
5.3.2 - O CTBE	134
5.3.3 - O CTC.....	137
5.3.4 - A Raízen.....	140
5.3.5 - A GranBio	143
5.3.6 - Outras iniciativas	147
5.4 - A rede do etanol celulósico no Brasil.....	148
6 - Considerações finais	161
Referências	172

1 - Introdução

Essa pesquisa teve como objetivo rastrear a rede de pesquisa e desenvolvimento do etanol celulósico de cana-de-açúcar no Brasil e fazer uma análise sociotécnica dessa rede. Para isso, utilizamos a teoria ator-rede para levantar quem são os principais atores envolvidos nessas pesquisas (empresas, instituições de pesquisa e financiamento, etc), as políticas relacionadas (politics e policies) e as tecnologias ligadas ao desenvolvimento desse produto. Por meio desse levantamento, realizado através de pesquisa bibliográfica, análise documental e entrevistas com atores envolvidos, procuramos identificar e analisar os principais movimentos de translação dessa rede, como os interesses envolvidos, disputas, negociações, questões técnicas, desafios e controvérsias ligados à produção, pesquisa e desenvolvimento do etanol de segunda geração.

O etanol celulósico - ou etanol de segunda geração (E2G) - é o álcool extraído das fibras de um vegetal. No caso da cana-de-açúcar, principal insumo utilizado no Brasil para a produção de etanol e alvo da nossa pesquisa, o etanol de segunda geração é obtido através do processamento do bagaço após a extração do caldo ou da palha. Esse combustível se coloca como uma das principais alternativas energéticas do séc. XXI, já que é uma resposta eficaz a diversos desafios contemporâneos, como a busca por alternativas energéticas renováveis que não contribuem com o aquecimento global, alternativa aos derivados do petróleo e a consequente dependência externa de vários países em relação a este, assim como a demanda crescente no mundo todo pela produção de biocombustíveis e o uso eficiente de terras.

Cerca de metade dos açúcares presentes na cana-de-açúcar estão no seu bagaço e no palhiço. Porém, somente a metade presente no caldo pode ser aproveitada atualmente com os métodos tradicionais de produção de etanol, que simplesmente extraem e fermentam o caldo (primeira geração). Por meio de um processo chamado de hidrólise - que liquefaz as fibras de um vegetal com o uso de ácidos ou enzimas específicas - o bagaço e a palha tornam-se aproveitáveis, produzindo-se mais etanol (segunda geração) a partir deste caldo hidrolisado (Seabra, 2008).

Sendo assim, é possível aumentar a produção de etanol em até 50% com a mesma quantidade de matéria-prima e área plantada (Finguerut, 2012; Bragatto, 2010; CGEE, 2009; BNDES & CGEE, 2008). O aumento da produção utilizando a mesma quantidade de matéria-prima significa melhor aproveitamento dos recursos renováveis

de nossa matriz energética e menor uso de terras, além do aumento da produção com preços mais competitivos, o que contribui, inclusive, para a segurança energética. Levando em consideração a capacidade das usinas de segunda geração já em operação e as que estão previstas para entrar em operação nos próximos anos, o Plano Decenal de Energia 2026 estima que a produção de etanol celulósico será de 634 milhões de litros até 2026, o que representaria quase 2% do total de etanol produzido naquele ano (EPE, 2017b).

Porém, atualmente ainda é um desafio para o Brasil e outros países que investem no assunto produzirem etanol celulósico de forma eficiente e competitiva. O desenvolvimento e produção de enzimas que hidrolisam as fibras de forma eficiente e barata, assim como o desenvolvimento de bactérias que fermentem de forma adequada os açúcares extraídos após a hidrólise ainda apresentam muitos desafios a serem superados e um longo caminho pela frente. A produção de etanol celulósico ainda envolve um pré-tratamento adequado do material e muitos processos diferentes, ainda em desenvolvimento, podem ser utilizados, o que representa muitos experimentos e questões a serem superadas (Silva, 2013; Seabra 2005; Rosa e Garcia, 2009; Hamelinck et al., 2005; Cardoso, 2008).

Tecnologias para a produção de etanol celulósico existem há muito tempo, desde a primeira metade do século XIX, porém, o interesse pela sua produção para suprir o mercado de combustíveis era muito reduzido até pouco tempo atrás, devido a sua baixa rentabilidade. Além disso, a maior parte das tecnologias existentes funcionam com fibras de madeiras como matéria-prima, e as tentativas de adaptação dessas tecnologias para a cana-de-açúcar promovidas no Brasil não tiveram muito sucesso ao longo dos anos e por algum tempo foram abandonadas (Silva, 2013).

Entretanto, recentemente o interesse pelo desenvolvimento e produção do etanol de segunda geração voltou a surgir nas empresas e institutos de pesquisa brasileiros, principalmente após algumas realizações bem sucedidas no exterior. A pressão crescente pela redução do uso de combustíveis fósseis nos países industrializados do mundo todo fez com que diversos países europeus, assim como os Estados Unidos, promovessem políticas de incentivo ao uso de combustíveis renováveis em suas matrizes energéticas, incluindo aí a adição de etanol na gasolina utilizada nos transportes. Como a produção de etanol é muito menos rentável no resto do mundo do que no Brasil, e até mesmo escassa em muitas regiões da Europa, esses países vem investindo em pesquisas para a produção de etanol de segunda geração, buscando tornar

a sua produção mais rentável e assim aumentar a quantidade de etanol disponível, evitando grandes importações (Nyko et al, 2010).

Isso fez com que o interesse por essas pesquisas voltasse a crescer em grande parte do mundo, incluindo o Brasil. Apesar de o Brasil produzir etanol a partir da cana-de-açúcar, diferentemente da maior parte do mundo que utiliza outras matérias-primas muito menos rentáveis como o milho, o arroz, etc, o que já coloca o Brasil em posição de vantagem no cenário mundial, é possível tornar a produção de etanol ainda mais eficiente através do melhor aproveitamento do bagaço e da palha excedente da cana-de-açúcar se tecnologias apropriadas forem implementadas com sucesso por aqui (Silva, 2013). São poucas ainda as empresas brasileiras que investem em pesquisas sobre esse tema no Brasil, assim como os programas públicos de pesquisa e políticas de incentivo. Porém, é um interesse que vem crescendo e deve aumentar ainda mais nos próximos anos (CGEE, 2009).

Em nossa pesquisa, buscamos rastrear as principais iniciativas no Brasil (públicas, privadas, programas e políticas de incentivo, etc), suas expectativas, as principais questões e desafios envolvidos, assim como as possíveis controvérsias. Diversas são as incertezas que envolvem o futuro do E2G no Brasil, como a viabilidade das enzimas necessárias ao processo, problemas relacionados à etapa de pré-tratamento, as recentes dificuldades e as inseguranças do setor sucroenergético com relação às políticas de longo prazo, controvérsias com relação a outras formas de produção e distribuição de energia, entre outras questões que iremos apresentar. Ao mesmo tempo, várias oportunidades e tecnologias inovadoras deslumbram com esse conjunto de atores e políticas, como a contribuição dessas empresas para o processo de produção de E2G como um todo, o pré-tratamento, tecnologias de cogeração, mecanização da colheita e desenvolvimento variedades de cana específicas para esse fim. Por meio de nosso referencial teórico, esperamos identificar quem são os principais atores humanos e não-humanos dessa rede, como eles se relacionam entre si e em que medida interferem no desenvolvimento do E2G no Brasil.

Para isso, fizemos um levantamento bibliográfico e documental sobre o desenvolvimento e produção do etanol celulósico no Brasil, especialmente a partir de teses, livros, artigos, dissertações e documentos oficiais (análises e programas) sobre o assunto e, de forma complementar, também as notícias relacionadas ao tema em revistas, portais, jornais de grande circulação e especializados como a NovaCana. Os principais programas e políticas públicas relacionados ao assunto também foram

levantados e analisados. Inicialmente, havíamos planejado realizar entrevistas semi-estruturadas com os diretores e representantes das principais empresas envolvidas com essas pesquisas, como o CTC, a Granbio, Raízen e o CTBE. Porém, a maior parte desses atores se recusou a falar conosco devido aos segredos comerciais ou simplesmente não responderam, o que nos obrigou a fazer a análise a partir quase exclusivamente dos dados secundários. O período adotado nesta análise é de 2006 - ano da primeira iniciativa moderna no Brasil - a 2017, referente ao fim desta tese.

O referencial teórico adotado nessa pesquisa é a teoria ator-rede (TAR), desenvolvida por diversos autores, com destaque para Bruno Latour (2000, 2012), Michel Callon (1986, 1987) e John Law (1999, 2007). Na visão da teoria ator-rede, todos os fatos científicos, tecnologias e ações sociais são resultado de uma rede formada sempre por uma coletividade de atores, humanos e não-humanos. A escolha por este referencial teórico se deu por conta das vantagens que essa teoria nos traz, possibilitando uma análise que leva em conta não somente os atores sociais tradicionais, como empresas, cientistas, políticas e governo, mas também os elementos técnicos que são decisivos não só para o sucesso ou fracasso de uma inovação, mas também para entender as decisões e comportamento dos demais atores. Como nossa pesquisa tem como objeto uma tecnologia que, como veremos, está repleta de associações, potenciais, entraves, incertezas e controvérsias, consideramos essencial uma análise multidimensional, que dê conta e relacione fatores de diferentes naturezas.

Essas associações que resultam numa rede são formadas na perspectiva da TAR através de um processo chamado por esses autores de translação (ou tradução ou ainda mediação), onde os atores-rede vão gradualmente moldando, disputando, adaptando e conciliando seus interesses por meio de alianças com outros atores-rede com interesses relacionados para a realização de seus objetivos. Essas alianças e ações nem sempre se dão de forma pacífica, muitas vezes envolvendo disputas e controvérsias em torno de um objeto ou objetivo (Latour, 2000).

Além disso, na perspectiva da teoria ator-rede, é impossível compreender a composição e atuação dessas redes se levarmos em consideração somente os atores sociais tradicionais, como empresas, instituições, cientistas, engenheiros e gestores. Para os autores (Latour, 2000, Callon, 1986, Law, 1999) toda rede é formada por atores humanos e também não-humanos, ou seja, objetos e tecnologias que estão intimamente conectados a essas redes.

Segundo Latour (2000, 2012), os objetos, elementos da natureza e tecnologias - tradicionalmente relegados às ciências da natureza, engenharias ou aparecendo de forma apenas acessória em pesquisas sociológicas - são fundamentais para o funcionamento e entendimento de qualquer rede. Além do elevado esforço necessário para compreender e dominar esses elementos, a teoria ator-rede ainda ressalta as frequentes disputas que se dão em torno desses objetos pela sua representação e dominação, o que revela o grau de importância que devemos dar a estes atores.

O autor chama esses elementos de “actantes” (ou atuantes) (Latour, 2001), ou seja, atores-rede, humanos ou não-humanos, que atuam e influenciam no funcionamento de uma rede, sendo na maior parte das vezes peças fundamentais para a sua formação, funcionamento, estabilidade e sucesso. Ainda, segundo Lemos (2013), um actante é tudo aquilo, humano ou não-humanos, envolvido em uma ação, que produz movimento e gera diferença, ou seja, algo que produz um efeito perceptível em uma rede (Freire, 2013). É o ator da expressão ator-rede.

A partir desse referencial, nos esforçamos em considerar o etanol celulósico como um actante, ou seja, uma tecnologia em construção em torno da qual se realizam diversos esforços e disputas, numa verdadeira corrida pelo seu domínio. Da mesma forma, diversas outras tecnologias e elementos não-humanos que fazem parte dessa rede (como a palha, colhedoras, novas variedades de cana, micro-organismos, enzimas, processos de transformação, cogeração, etc) também foram considerados actantes para que pudéssemos compreender sua importância e influência, e mais profundamente o funcionamento, as questões e controvérsias ligadas à rede do E2G no Brasil.

Ao levarmos em consideração em nossa pesquisa não somente as empresas, instituições, políticas e programas de pesquisa relacionados ao etanol de segunda geração, mas também as questões e desafios técnicos que estão em jogo, buscamos contribuir com uma análise multidimensional sobre o assunto, mostrando a relação desse híbrido (sociotécnico) com questões mais complexas da política energética nacional e de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I).

Com isso, procuramos trazer respostas às seguintes perguntas: Quem são os principais atores (empresas, instituições, programas, etc) que formam a rede de pesquisa, desenvolvimento e produção de etanol celulósico no Brasil? Qual são seus graus de importância e influência? Quais são as principais tecnologias relacionadas (actantes) e como elas interferem nesse desenvolvimento? Quais são os principais programas e iniciativas que fazem parte dessa rede? Quais são os pontos fortes e fracos

dessa rede? Como o etanol de segunda geração interfere e interliga os atores da política energética nacional? E por fim, qual o grau de dependência e contribuição do Brasil com respeito ao desenvolvimento do etanol de segunda geração? Ao fim dessa análise, esperamos ter contribuído com um exercício rigoroso da TAR e um retrato apurado do desenvolvimento dessas tecnologias no Brasil.

É importante ressaltar que ao descrever esse rede sociotécnica, por mais elementos, alianças e movimentos que nela surjam, não estamos necessariamente sugerindo um sucesso ao demonstrar sua complexidade. Como a TAR aponta, muitas vezes há um longo encadeamento de atores, sucessivas interações e translações, e mesmo assim não se consegue chegar a um ponto de passagem obrigatório, como uma inovação bem sucedida. Num exemplo que Callon traz (1987), o autor analisou o desenvolvimento do veículo elétrico (VEL) na França na década de 70 pela EDF (Electricité de France). Callon (1987) coloca que durante a tentativa de desenvolvimento, observou que os engenheiros da EDF utilizavam tanto habilidades técnicas (típica da engenharia), quanto outras mais comuns aos cientistas sociais.

No caso, os engenheiros aproveitaram as novas demandas de um público que já exigia mudanças em relação à poluição (do ar e sonora) dos carros convencionais para desenvolver um novo tipo de veículo. Sabiam que os carros grandes e potentes (inviáveis pela nova tecnologia baseada em células a combustível) eram um objeto de status e que estariam sacrificando essa lado em prol de outro aspecto novo nas demandas de um novo público consumidor. Procuraram, então, ajuda de ministérios para subsidiar os municípios interessados no carro elétrico e apoiaram mudanças nas regulamentações de níveis de poluição dos carros, o que por um tempo deu certo. Porém, com o passar do tempo as coisas começaram a dar errado. Os elementos técnicos (catalisadores, células a combustível), não estavam respondendo adequadamente às expectativas. Os catalisadores estavam se contaminando, as células combustíveis não estavam se mostrando eficientes o suficiente, as baterias estavam se mostrando caras, etc.

Além disso tudo, outros elementos (sociais ou humanos) não estavam mais se alinhando com os interesses da EDF. Os movimentos sociais perderam sua força tão rápido quanto surgiram. A insatisfação com a indústria automobilista revelou ser algo temporário. Outras soluções foram sendo pensadas e adotadas para resolver a poluição no transporte público (como motores a combustão mais eficientes). As novas demandas

por um novo tipo de carro não foram suficientemente fortes para mudar as forças sociais existentes, que os carros tradicionais representavam (Callon, p.91).

Curiosamente, um destino semelhante ocorreu com as células a combustível no Brasil, como analisei em minha dissertação de mestrado (Lorenzi, 2012), onde um robusto plano foi formulado para a economia do hidrogênio, criando instituições de pesquisa e programas de financiamento, até mesmo uma rede formal que envolvia institutos de pesquisa e universidades, além de um plano completo para tornar a economia do hidrogênio uma realidade até 2030, porém, caindo no esquecimento tão rapidamente quanto surgiu.

Esta tese foi dividida em 5 seções, sendo a primeira essa introdução que explicita os objetivos da pesquisa, o referencial teórico e contextualiza o nosso objeto de estudo. Na segunda seção, apresentamos e discutimos a teoria do ator-rede (TAR), a qual serve de base teórica e guia instrumental para a nossa pesquisa.

Na terceira seção levantamos o histórico e situação atual do setor sucroenergético no Brasil. Começamos com uma revisão e análise da criação do ProÁlcool (Programa Nacional do Álcool) na década de 70 para entender como o setor sucroenergético se consolidou no Brasil, assim como quais eram os principais atores e seus interesses. Em seguida, tratamos um pouco da situação atual do setor e sua recente crise, que traz grandes implicações à dinâmica do setor e por consequência ao E2G. Por fim, tratamos da logística de produção e distribuição do etanol e como isso afeta o E2G.

Na seção 4 abordamos o setor energético brasileiro como um todo, buscando entender suas recentes reformas e como isso afeta a produção de energia renovável, especialmente etanol e bioeletricidade, com a entrada de novos atores e trazendo novas possibilidades. Em seguida, abordamos a controvérsia que se dá em torno da produção de E2G ou bioeletricidade sucroenergética, já que ambos são produzidos a partir da mesma matéria-prima (bagaço e palha) e disputam, portanto, os investimentos e esforços das usinas, especialmente as mais novas e modernas.

Na quinta seção entramos mais a fundo no assunto de nossa pesquisa, começando pelas tecnologias e elementos técnicos - ou atores não-humanos - que fazem parte da rede do etanol de segunda geração, como as enzimas, leveduras, processos, materiais (palha, cana-energia), etc, assim como as questões, desafios e figurações que envolvem essas tecnologias e a interferência desses atores (ou actantes) no desenvolvimento e produção do E2G. Várias questões são levantadas, como os entraves

com o pré-tratamento e os potenciais envolvendo a cana-energia, mostrando como esses actantes têm sido decisivos para a definição dos movimentos de translação dos atores e alterado profundamente as expectativas dos produtores. Em seguida, fazemos um levantamento das políticas e programas que incentivam ou se relacionam com a pesquisa e produção de E2G no Brasil, apontando os mais importantes como o programa PAISS do BNDES-Finep e o recentemente lançado Renovabio, o qual acompanhamos mais de perto, seguindo as controvérsias e disputas envolvidas em sua criação. Num terceiro momento apresentamos as principais iniciativas nacionais até o momento no que se refere à pesquisa e produção de etanol de segunda geração, no caso a GranBio, a Raízen, o CTC e o CTBE. Por fim, partimos para a análise dessa rede, apontando quais são seus principais mediadores, seus interesses, as disputas, incertezas e controvérsias envolvidas, mostrando como o etanol de segunda geração é uma caixa-preta ainda aberta a definições e associações, profundamente relacionada a fatores de diferentes naturezas e repleta de incertezas.

Por último, passamos às nossas considerações finais onde retomamos e relacionamos as seções e pontos mais importantes dessa tese. No final dessa análise, esperamos poder contribuir tanto com um exercício rigoroso da teoria ator-rede, quanto com um retrato apurado da rede de pesquisa e produção do etanol celulósico no Brasil, mostrando como esse objeto híbrido é afetado e influencia o futuro do etanol e da política energética brasileira.

2 - A Teoria ator-rede

Na perspectiva da TAR (Teoria Ator-Rede, ou Actor-Network Theory no inglês - ANT), a construção de fatos científicos e tecnologias se faz por meio de um processo chamado de tradução ou translação (Latour, 2000; Callon, 1986; Law, 1999). Nesse processo, os atores sociais envolvidos com algum objetivo específico, como criar ou promover uma tecnologia, procuram e associam aliados com interesses comuns para tornar os seus projetos possíveis. Para isso, é necessária a construção de uma rede sólida, formada tanto por atores humanos (como cientistas, engenheiros, instituições de pesquisa, instituições financeiras, empresas, etc) como por elementos técnicos, que Latour (2000) vai chamar de atores não-humanos (tecnologias, instrumentos, máquinas, átomos, moléculas, proteínas, etc).

Por meio dessa rede formada por atores humanos e não-humanos, os fatos científicos e as tecnologias podem gradualmente ganhar coerência, através da superação dificuldades técnicas e sociais que se dão na medida em que os atores sociais negociam seus objetivos (muitas vezes por meio de disputas) e o comportamento dos elementos não-humanos se torna mais previsível e adequado a esses objetivos. Como Law descreve:

O “conhecimento”, portanto, é corporificado em várias formas materiais. Mas de onde ele vem? A resposta da teoria ator-rede é que ele é o produto final de muito trabalho no qual elementos heterogêneos – tubos de ensaio, reagentes, organismos, mãos habilidosas, microscópios eletrônicos, monitores de radiação, outros cientistas, artigos, terminais de computador, e tudo o mais – os quais gostariam de ir-se embora por suas próprias contas, são justapostos numa rede que supera suas resistências (Law, 2003, p. 2).

Ainda, segundo Latour (2012), todo ator é em si um “ator-rede”. Isso quer dizer que nenhum ator age sozinho, há sempre uma rede de atores conectada a este ator, dando-lhe legitimidade, poder, influenciando suas ações, etc. “O ‘ator’, na expressão hifenizada ‘ator-rede’, não é a fonte de um ato e sim o alvo móvel de um amplo conjunto de entidades que enxameiam em sua direção” (Latour, 2012, p. 75). Como Law (1999) aponta, os atores são na verdade efeitos da rede. Ou ainda, “uma rede de atores é simultaneamente um ator, cuja atividade consiste em fazer alianças com novos

elementos, e uma rede, capaz de redefinir a transformar seus componentes” (Callon, 1987, p. 93).

No final desse processo (se bem sucedido), temos o que Latour (2000) vai chamar de caixa-preta (conceito utilizado inicialmente na cibernética): uma discussão encerrada ou a difusão de uma tecnologia bem sucedida, de forma que a partir desse ponto só se pense no que entra e no que sai dessa "caixa", sem a necessidade de entendê-la a fundo.

Portanto, segundo o autor, o que precisamos fazer para entendermos a construção de um fato científico ou de uma tecnologia e mapear a rede que torna isso possível é acompanhar o fechamento dessa caixa-preta, ou seja, identificar os atores envolvidos nesse processo, suas alianças, interesses, acordos, disputas e controvérsias. É preciso também dar a mesma importância tanto aos atores humanos quanto os não-humanos, ou seja, trata-los de forma simétrica, já que um não sobrevive sem o outro. Segundo Calás e Smmircich (1999), as principais características metodológicas da TAR são:

- 1) *agnosticismo do observador* – todas as explicações colhidas durante a análise devem ser levadas em consideração, sem que nenhum ponto de vista seja privilegiado e nenhuma interpretação censurada de antemão;
- 2) *simetria generalizada* – não se deve privilegiar os aspectos técnicos ou, ao contrário, os sociais, isso é, todos os elementos que compõem a rede devem ter o mesmo peso na análise;
- 3) *associação livre* – o observador precisa abandonar todas as distinções entre fenômenos naturais e sociais, dado que não existe fronteira que os distingue claramente.

Na sequência dessa seção, abordaremos um breve histórico do surgimento dessa teoria, assim como suas características mais importantes. Em seguida colocaremos em mais detalhes como aplicar a teoria em um estudo de caso.

2.1 - As origens da Teoria Ator-Rede

Em uma tentativa de apontar as principais influências dos elementos mais importantes que dão corpo à teoria ator-rede, John Law (2007) cita quatro conjuntos de influências que considera fundamentais. Esses conjuntos não são apresentados de forma cronológica pelo autor e segundo ele é preciso considerar que todos eles estão imbricados.

Em primeiro lugar, ele cita a influência da teoria de sistemas e o trabalho de Thomas Hughes (1983), um historiador da tecnologia que descreveu pela primeira vez o desenvolvimento de uma tecnologia, no caso o trabalho de Thomas Edison e a implantação da rede de eletricidade em Nova York, como uma combinação de elementos de diferentes naturezas que formam um sistema (elétrons, linhas de transmissão, geradores, laboratórios, políticas, financiamentos, manobras legais, etc). Para Hughes, a chave para a explicação não estava nos elementos, mas sim na arquitetura que esses elementos combinados de certa forma criavam, formando em suas palavras um “tecido sem costura”, ou seja, um tecido formado por diversos elementos de diferentes naturezas, mas interdependentes.

Mais ou menos ao mesmo tempo, Michel Callon (1980) descreve a tentativa de se desenvolver um carro elétrico que utilizasse células a combustível pela Renault na França e por que esse empreendimento não deu certo. Apesar de todo o esforço e do apoio público e governamental ao projeto, os catalisadores das células não funcionaram da maneira adequada, o que inviabilizou o projeto. A partir dessa experiência, Callon aponta que a chave para a teoria ator-rede estava em descrever como elementos heterogêneos - sociais e materiais – formavam um sistema.

Em segundo lugar, Law cita as etnografias de laboratório. Essas análises foram fortemente influenciadas pela obra de Thomas Kuhn (2005 [1962]), que afirmava que, ao contrário do que o positivismo defendia, a natureza sozinha não é suficiente para resolver todas as questões científicas. Ao contrário, Kuhn enfatizava que os cientistas possuem uma cultura: um conjunto de conhecimentos, métodos, crenças e valores que orientam as suas práticas e norteiam a resolução das questões, o que ele vai chamar de paradigma científico. A partir do momento em que o paradigma dominante não dá mais conta de responder a todas as questões em debate em uma determinada área, inicia-se o que ele chama de revolução científica, ou seja, um período de inovações teóricas e disputas em torno de questões difíceis de responder utilizando somente o paradigma

anterior, até se instalar um novo paradigma que da conta das questões até então irrespondíveis.

Além de Thomas Kuhn, Law (2007) cita a contribuição da Escola de Edimburgo e o Programa Forte na sociologia da ciência em meados dos anos 70 para as etnografias de laboratório. Um de seus principais expoentes, David Bloor (1998 [1976]), afirma em sua proposta para o estudo das ciências que, ao contrário do que a sociologia da ciência propunha até então, a sociedade não influenciava somente o formato da prática científica e seu grau de liberdade, mas que o conteúdo científico também era cabível de uma análise sociológica. Segundo essa proposta, tanto os erros quanto os acertos na ciência envolvem o social e possuiriam o mesmo tipo de explicações e, portanto, deveriam ser tratados de forma simétrica (nos mesmos termos), posto que era o mesmo processo social, científico da mesma forma, que levava ao sucesso ou ao fracasso.

Influenciados por essas teorias, começaram a aparecer os estudos de laboratório (Latour & Woolgar, 1997 [1979]; Knorr-Cetina, 2005 [1981]; Lynch, 1985). Nesses estudos, os pesquisadores acompanhavam de perto o passo a passo do cientista em seu habitat natural e a partir disso tentaram demonstrar como o conhecimento científico é construído a partir de um processo social que envolve ideias controversas, disputas, leituras diferentes dos mesmos gráficos, consensos, etc.

Por meio de um estudo de caso em um laboratório de endocrinologia, Bruno Latour e Steve Woolgar (1997) descrevem como esses fenômenos sociais se dão e posteriormente desaparecem dos artigos e relatórios finais, como se toda a trajetória para se chegar ao resultado final tivesse sido puramente objetiva e livre de disputas e controvérsias - o que os autores vão chamar de processo de purificação. Isso explica, segundo eles, por que a ciência é uma atividade profundamente social, mas aparenta - para leigos e cientistas - envolver somente a natureza.

Latour e Woolgar (1997) também afirmam que deveríamos adicionar mais uma simetria à proposta de David Bloor: a simetria entre elementos humanos e não-humanos. Como é demonstrado pelos autores, ambos são necessários para a fabricação dos produtos científicos e difíceis de distinguir durante o processo e, portanto, deveriam ter o mesmo peso na análise. Nesse momento, Latour ainda não chama isso de teoria ator-rede, mas Law (2007) aponta que vários de seus elementos já estariam presentes: relações entre elementos heterogêneos, indiferença em relação à veracidade dos objetos estudados, circulação de interesses e a predisposição a estudos de caso minuciosos.

O terceiro conjunto de influências à teoria ator-rede que Law (2007) aponta se refere ao uso do conceito de translação ou tradução. Esse conceito, segundo Law, seria baseado na etnometodologia de Harold Garfinkel (1967) e na tese de Michel Serres (1974) de que os cientistas criam padrões de ordem num mar de desordem a partir do uso de “translações” ou traduções da realidade. Da mesma forma que as traduções de textos em diferentes línguas convertem termos que ao mesmo tempo em que são semelhantes, não são exatamente iguais, os cientistas realizariam traduções da realidade aparentemente desordenada da natureza em padrões que apresentam uma determinada ordem e refletissem similaridades com essa realidade.

Michel Callon é o primeiro a utilizar esse conceito em seu estudo sobre a domesticação de vieiras na baía de Saint-Brieuc e sobre o desenvolvimento de um carro elétrico na França (Callon, 1986; 1987). Segundo o autor, os atores envolvidos nos dois estudos articularam redes a partir da tradução de interesses e pontos de vista uns dos outros com vistas à realização de um objetivo. A tradução seria um mecanismo de disputa e convergência entre os diversos elementos heterogêneos (humanos, não-humanos, econômicos, políticos, etc) em uma rede sociotécnica. Esse processo de tradução ou translação modificaria em certa medida as ações e comportamentos de cada um ao mesmo tempo em que conserva o que há de comum nesses interesses, o que resultaria numa ordenação de um estado inicialmente desordenado que pode culminar no sucesso ou no fracasso de um projeto.

Law (1993 [1987]) também contribui com esse conceito em um famoso artigo em que demonstra como as grandes navegações portuguesas só foram possíveis através da reunião de diversos elementos heterogêneos (físicos e sociais), como as ágeis embarcações portuguesas, velas, ventos, correntes marítimas, estrelas, astrolábios, o apoio da corte e o conhecimento dos marinheiros. Segundo o autor, a força e durabilidade de uma rede é garantida através da capacidade dessa rede (ou sistema) em reunir elementos de diversas naturezas que contribuem com a realização de um objetivo, assim como rebater ou converter elementos hostis em aliados, como foi o caso dos ventos que sopravam em direções diferentes convertidos em aliados por meio de uma rota especial (a volta), o que só foi possível devido à contribuição de outros atores, no caso, as estrelas e os instrumentos astronômicos de navegação.

Segundo Latour (2000), translação (ou tradução) possui dois sentidos: o primeiro é linguístico, no sentido de traduzir (modificar) interesses e representações, podendo fazer com que objetivos e interesses distintos de dois ou mais atores ganhem um novo

sentido mais adequado. O segundo, conseqüente deste, é geométrico, ou seja, de trazer outros aliados para ajudar na construção de um fato ou uma tecnologia. Como Law afirma, “tradução é um verbo que implica transformação e a possibilidade de equivalência, a possibilidade que uma coisa (por exemplo, um ator) possa representar outra (por exemplo, uma rede)” (Law, 2003, p.5-6). Ainda, ao mesmo tempo em que um ator (ou actante) modifica o outro, ele é modificado por este. No caso analisado por Latour sobre o fermento de Pasteur fica evidente que tanto Pasteur modifica a ação do fermento (tornando biológico o que antes era considerado químico) e assim criando uma nova área de estudos, quanto o fermento modifica Pasteur, contribuindo para a fama que este iria adquirir (Latour, 2001).

Essa interpretação do conceito de tradução vai de encontro com a definição de Callon (1986) que caracteriza esse processo através de dois mecanismos principais: simplificação e justaposição. O primeiro se refere à necessidade que os atores-rede têm de simplificar o mundo para inseri-lo em suas redes, posto que é impossível conhecer ou ter em consideração toda a complexidade da natureza, a sociedade ou mesmo apenas algum elemento como o eletromagnetismo ou um movimento social. Dessa forma, é necessário simplificar esses elementos, enfatizando as características mais importantes naquele contexto ou de acordo com os interesses de determinados atores, para serem compreensíveis e compatíveis com a proposta de inovação de uma empresa, por exemplo.

O segundo mecanismo se refere à necessidade de combinar diferentes elementos, humanos e não-humanos, como no caso do veículo elétrico na França (células a combustível, elétrons, catalisadores, alta do petróleo, poluição, movimentos sociais, etc) para que uma rede sócio-técnica tenha sucesso. Tradução, portanto, se refere à interpretação, mudança, transformação, articulação e ordenamento em torno de alguma coisa.

Dentro desse conjunto também é importante lembrar a contribuição da semiótica de Greimas e a sociologia de Gabriel Tarde. Segundo Greimas (2008), um actante é qualquer ser ou coisa que participe de um processo e articule uma função dentro do enunciado, podendo ser pessoa, objeto ou conceito, substituindo a noção de personagem. O importante é o papel que o actante tem dentro de uma narrativa, agindo como um sujeito. Tomando esse conceito emprestado da semiótica, a TAR considera que tanto humanos quanto não-humanos são capazes de agência e mediação, postos que

esses atores, independente da sua natureza, são capazes de influenciar o curso da ação e associar outros actantes (Cardoso, 2015).

Já a sociologia de Gabriel Tarde (2003) inspira o conceito de sociologia de associações e achatamento em Latour (2012). Para Tarde (2003), as pessoas, objetos e ideias não possuem uma essência definida e permanente, mas sim são um conjunto de diferenças e potências sem uma causa única definida, formada por inúmeras outras mônadas (conceito que Tarde toma emprestado de Leibniz), de forma infinitesimal e em constante mutação e interação com outras mônadas. Portanto, o real nada mais é que uma potência suficientemente forte (como uma ideia que encontra ressonância na maioria de uma comunidade e se torna realidade), mas da qual há uma infinidade de outras possibilidades não concretizadas. Dessa forma, a metafísica do *ser* é substituída pela metafísica do *ter*, ou seja, tudo é formado e caracterizado através da associação e contato com outras coisas, nada é essencialmente e definitivamente, mas sim *está*, ou *tem* vínculos com outras coisas igualmente transitórias (Cardoso, 2015; Vargas, 2004). Segundo Vargas:

Isso quer dizer que nem a sociedade constitui uma ordem mais alta e complexa que a dos indivíduos, nem os indivíduos são o fundamento das sociedades: indivíduos e sociedades, como células e átomos, são todos compostos e, como tais, imediatamente relacionais. (Vargas, 2004, p. 175)

Essa perspectiva será fundamental para a sociologia de associações de Bruno Latour (2012) e da TAR. Em oposição à sociologia tradicional que vê uma dimensão social como algo real que atravessa tudo e serve como material explicativo *a priori*, para Latour, assim como em Tarde (2003), o social é resultado, não ponto de partida, e seus movimentos (diferenças, translações) devem ser acompanhados de forma “plana”, ou seja, seguindo as atuações e associações com outros actantes (humanos ou não-humanos), que por sua vez são formados por inúmeros outros atores-rede.

Por último, Law (2007) cita a influência do pós-estruturalismo à teoria ator-rede. O autor sugere que a TAR é uma versão empírica semelhante ao que Michel Foucault (1979) chama de microfísica do poder. Foucault sugere que as relações de poder se dão de forma relacional em nível local, e não de cima para baixo como sugere a sociologia marxista. Como afirma Roberto Machado na introdução de *Microfísica do Poder*, “para Foucault, não existe algo unitário e global chamado poder, mas unicamente formas

dísparas, heterogêneas, em constante transformação. O poder não é um objeto natural, uma coisa; é uma prática social e, como tal, constituída historicamente” (Foucault, 1979, p. X). Ainda, segundo Foucault, o poder se daria na forma de um feixe de relações mais ou menos organizado. Como afirma em várias ocasiões (Foucault 1999, 1979), o poder não é algo que se possui, mas sim o efeito de uma estratégia de dominação, uma rede de relações sempre em atividade ou microfísica:

o estudo desta microfísica supõe que o poder nela exercido não seja concebido como uma propriedade, mas como uma estratégia, que seus efeitos de dominação não sejam atribuídos a uma “apropriação”, mas a disposições, a manobras, a táticas, a técnicas, a funcionamentos; que se desvende nele antes uma rede de relações sempre tensas, sempre em atividade, que um privilégio que se pudesse deter; que lhe seja dado como modelo antes a batalha perpétua que o contrato que faz uma cessão ou a conquista que se apodera de um domínio. Temos em suma que admitir que esse poder se exerce mais que se possui (Foucault, 1999, p. 30).

Ainda podemos citar a influência da Deleuze e Guatarri (1995) com a noção de rizoma, semelhante à rede latourina em alguns aspectos, já que nessa forma de olhar os processos sociais não existem pontos fixos ou sistema centralizado, apenas meios, cada traço está conectado a todos os outros traços, biológicos, políticos, econômicos, signos e objetos (Freire, 2006; Cardoso, 2015).

Da mesma forma, a teoria ator-rede vê as ações dos atores como resultado um feixe ou emaranhado de relações. Segundo Latour, “O ‘ator’, na expressão hifenizada ‘ator-rede’, não é a fonte de um ato e sim o alvo móvel de um amplo conjunto de entidades que enxameiam em sua direção” (Latour, 2012, p. 75). Ao mesmo tempo, essa rede só existe enquanto um movimento, circulação de atores e ações. Dessa forma, portanto, as ações são ao mesmo tempo locais e globais, dado que só podem se manifestar no nível local, mas ao mesmo tempo dependem de uma rede que pode se estender globalmente.

A partir desses quatro conjuntos influências, Law (2007, p.7) afirma que a TAR tomou forma mais ou menos em 1990, momento em que suas principais características já estavam presentes, que segundo ele são:

- 1) Semiótica relacional: os elementos de uma rede definem e são definidos pelos outros elementos dessa rede, sendo impossível toma-los individualmente na análise.
- 2) Heterogeneidade: diferentes tipos de atores fazem parte das redes, tanto humanos quanto objetos (ou não-humanos).
- 3) Materialidade: As coisas e objetos concretos, como documentos, máquinas, prédios, etc, são essenciais para o funcionamento das redes, não só “o social” por ele mesmo.
- 4) Insistência no processo e sua precariedade: as ações e as redes fazem parte de um processo que está em constante construção e redefinição, fundamental para o bom funcionamento da rede, sendo que esta nunca encontra sua forma acabada.
- 5) Atenção ao poder como um efeito: o poder é visto como produto das relações dessas redes, e não como algo dado a priori, não podendo, portanto, servir de explicação para as ações, mas, pelo contrário, necessita ser explicado.

Sobre este último item é importante ressaltar que para a TAR o poder é sempre consequência da forma que uma rede está organizada, e não sua causa. A partir desse ponto, podemos pensar as organizações como uma determinada configuração de relações orientadas de tal forma que agem como se fossem um único ator-rede. O poder dessas organizações pode ser pensado, portanto, como efeito dos processos de translação. Enquanto um processo que alista diferentes atores humanos e não-humanos para a realização de um objetivo comum, o processo de translação (ou tradução) pode ser visto como um movimento que produz não só artefatos ou pontos de vista, mas também formas específicas de se organizar uma rede, produzindo, desta forma, hierarquia e poder. Como Alcadipani e Tureta (2009) apontam, o poder na TAR não é possuído, mas sim exercido:

O problema que cerca a questão do poder pode ser descrito como um paradoxo. Quando alguém ou alguma coisa apenas possui um poder potencial ou latente, nada acontece e a entidade está desprovida de poder; por outro lado, quando alguém ou alguma coisa exerce poder de fato, outros estão desempenhando a ação e não somente aquele que o exerce. A diferença entre o poder potencial e o poder de fato está nos “outros”, uma vez que ele só pode ser explicado pela ação destes. Assim, o poder é sempre o efeito e não a

causa; é consequência de uma atividade intensa de envolvimento, persuasão e alistamento. O poder não é possuído, mas produzido continuamente por meio de movimentos simples dentro das redes-de-atores, isto é, um efeito do processo de translação (Alcadipani e Tureta, 2009, p. 654).

É, portanto, sobre os processos de translação - ou seja, as ações e movimentos que os atores-rede realizam com o intuito de trazer aliados, modificar interesses e alcançar objetivos - que devemos nos debruçar se quisermos entender as relações de poder dentro de uma organização ou entre organizações de acordo com a TAR. Da mesma forma, as alianças, os interesses e os conflitos tornam-se visíveis quando acompanhamos esse processo.

2.2 – A análise a partir da TAR

Em um de seus mais recentes livros, Bruno Latour (2012) empenha-se em desmistificar a teoria ator-rede. Para isso, o autor descreve o passo a passo do que considera um bom uso da teoria e no que ela se diferencia da sociologia tradicional, o que podemos tomar como a metodologia em nossa análise.

Latour (2012) chama a sua própria prática de “sociologia de associações” em oposição ao que tradicionalmente é praticado nas ciências sociais, que ele vai chamar de “sociologia do social”. Segundo o autor, a sociologia do social vê o mundo com um material a mais, uma dimensão extra, que chamam de “o social”, assim como os cientistas da natureza têm “a natureza”. Essa dimensão ou material conectaria e explicaria todos os eventos do mundo político e social para esses cientistas, substituindo sua verdadeira dinâmica por algo que funcionaria como um éter, uma totalidade, que estaria entre tudo e todos.

Ainda segundo o autor, essa visão de mundo tomaria o efeito pela causa, atribuindo a qualquer fenômeno uma explicação pré-concebida, onde “a sociedade” (coisa estranha para o sociólogo de associações) impera como um grande Leviatã, determinando tudo e qualquer coisa e não dando espaço nenhum para a escolha, a influência ou a mudança. Seja lá o que o pesquisador do social descobrir em sua pesquisa, lá estava, de antemão, “a sociedade”, que causou toda a ordem das coisas.

Para livrar-se dessa ilusão e apontar os benefícios que o bom uso da TAR pode trazer, Latour (2012) apresenta o que chama de sociologia de associações, onde

demonstra que “a sociedade” não é nada mais que um panorama provisório, uma imagem criada após uma análise e, além do mais, consequência, e não causadora das associações. Há muito mais espaço aqui, portanto, para os atores se moverem e improvisarem associações. Afinal de contas, seria impossível imaginar o mundo político, por exemplo, sem suas mudanças, improvisos e estratégias, muitas vezes imprevisíveis até então, se considerássemos sempre “o social” como determinante.

Segundo Latour (2012), para se por em prática a TAR e a sociologia de associações, é necessário primeiro acompanhar as controvérsias, sem se preocupar em tomar lados ou prever seus resultados, mas sim utilizá-las como fontes de informação para descobrir quem são os atores (humanos e não-humanos) que fazem parte da rede relacionada ao tema (quase sempre controverso). A partir disso, o pesquisador deve acompanhar esses atores e observar como eles definem e tentam estabilizar seus objetos para só no final tecer uma conclusão sobre como esses grupos atuam e modificam o mundo social. Ai também estaria uma das principais contribuições políticas da TAR, ao ajudar a revelar através de sua descrição minuciosa forças e grupos atuantes até então desconhecidos.

A partir disso, o autor explora como alimentar as controvérsias através de 5 passos que vai chamar de “fontes de incerteza”, exatamente por seu conteúdo ser algo incerto, a ser desvelado por meio da análise e não tomado de antemão como a sociologia do social.

Em primeiro lugar, o autor aponta que não existem grupos definidos, mas somente grupos constantemente em formação. A partir disso o analista deve buscar quais são os grupos relacionados a determinado assunto, como eles se formaram e como eles próprios se definem. Para isso, muitas vezes, o pesquisador terá que buscar o que há em comum no discurso dos porta-vozes desses grupos (seja um partido, empresa ou instituição) já que quase nunca há um consenso quando o assunto é sua própria definição (o que ainda demonstra como isso é fluído).

O segundo passo é avaliar a diversidade de razões diferentes que levam os grupos a agir. A ação aqui é tomada como um conglomerado de outras ações onde participam uma infinidade de atores, como um enxame que aponta em determinada direção. Aqui já é possível entender melhor porque ator e rede são uma só coisa e devem sempre ser referidos como “ator-rede”, dado que um ator nunca age sozinho, mas é sempre levado a agir por meio de uma cadeia de ações praticadas por outros atores (com sua relevância obviamente, dado que é sempre possível e geralmente

praticado uma modificação - ou o que o autor chama de “tradução” - no sentido e significado de cada ação nessa cadeia).

Segundo Law (1993), um ator é um elemento que possui uma influência ou importância detectável em uma rede analisada. Mas nada impede que em algum momento ou em outra análise se foque nos diversos elementos e influências que constituem aquele ator e suas ações. Portanto, a atomização de um ator-rede serve apenas para facilitar uma determinada análise, posto que um aprofundamento em todos os seus atores tenderia ao infinito.

Uma ação, portanto, pode assumir diversas figurações, dependendo de como seus porta-vozes a definem. Um exemplo fictício: enquanto o ministro da ciência e tecnologia pode considerar o aumento de recursos para o financiamento em pesquisas de um determinado setor – por exemplo, para pesquisas em biocombustíveis - como importante para manter a liderança do país naquele setor de pesquisa, o ministro de energia provavelmente consideraria a questão da segurança energética como sendo uma das mais beneficiadas, ao passo que o ministro do meio ambiente pode considerar um avanço na questão ambiental. Já o reitor de uma universidade que receber esses recursos deverá achar da maior importância para manter os índices científicos da universidade. Um pesquisador que recebe parte do recurso para seu projeto deve considerar da maior importância para o seu objeto de análise, enquanto aquele que não recebeu os recursos provavelmente vai considerar um absurdo que as instituições de pesquisa não priorizem o seu projeto. As empresas beneficiadas pelo recurso devem considerar de fundamental importância para a inovação e manutenção de sua posição em relação ao mercado, enquanto outras empresas que não foram beneficiadas podem alegar um mau uso dos recursos públicos, e daí por diante. É de suma importância, portanto, avaliar as diferentes figurações que os vários atores atribuem a uma determinada ação para se compreender suas diversas consequências e significados.

Essas diferentes visões sobre uma questão podem tanto estar em relativo acordo entre si como podem estar em grande desacordo. Independentemente todas fazem parte da mesma rede, dado que influenciam, nesse exemplo, o destino e o montante dos recursos. É fundamental, portanto, analisar as traduções que cada um dos atores participantes de uma rede atribui ao seu objeto para se acompanhar as controvérsias e compreender de fato o objeto em questão. É aqui também que o pesquisador terá a oportunidade de perceber se o ator em questão é de fato um mediador (ou seja, que possui poder influência suficiente para modificar o curso da ação) ou simplesmente um

intermediário, que nada influencia no assunto em questão (como um simples mensageiro ou funcionário de baixo escalão).

A terceira fonte de incerteza que o autor vai apontar são os elementos não-humanos que interferem no curso da ação. Para o autor, qualquer coisa que modifique o curso de uma ação deve ser considerada um ator, dado que influencia o resultado final. Atores não-humanos - como objetos e tecnologias - têm, portanto, importância fundamental na análise, já que o tempo todo as pessoas precisam deles para agirem, seja através de uma caneta para escrever um relatório, um microfone para fazer uma palestra, um sistema interconectado de computadores e softwares para realizar uma transação financeira, etc. Os atores não-humanos que participam do fluxo da ação devem ser levantados e sua importância considerada, posto que sem eles os humanos quase nada fazem. Segundo Law (2003), a respeito desses objetos:

Quase todas nossas interações com outras pessoas são mediadas através de objetos. Por exemplo, eu falo a você através de um texto, muito embora provavelmente nunca nos encontraremos. E para fazer isso, eu estou digitando num teclado de computador. Nossas comunicações com os outros são mediadas por uma rede de objetos – o computador, o papel, a imprensa. E é também mediada por redes de objetos-e-pessoas, tal como o sistema postal. O argumento é que essas várias redes participam do social. Elas o moldam. (...) se os seres humanos formam uma rede social, isto não é porque eles interagem com outros seres humanos. É porque eles interagem com seres humanos e muitos outros materiais também (Law, 2003, p. 3-4).

Ainda segundo Law (2003), é precisamente devido à sua materialidade que uma rede pode se tornar durável. Ideias e articulações puramente sociais tendem a desaparecer com a mesma velocidade que surgem. Porém, na medida em que essas ideias e relações assumem formas materiais, como relatórios, documentos, leis, processos formais, empresas, mercadorias, etc, essas relações tendem tornar-se mais duráveis, devido a assumirem um alcance e eficácia muito maior dessa forma.

As ações, portanto, se fundem aos objetos o tempo todo, como um gráfico no computador que convence em uma reunião de negócio ou uma ação militar por meio do lançamento de um míssil. Esses objetos parecem invisíveis na maior parte do tempo exatamente devido ao elevado grau de fusão com a maior parte das ações humanas. Porém, se fazem visíveis com mais facilidade em algumas situações como inovações, mudanças, rupturas, acidentes, etc, dado que nesses casos as suas características e

funções se tornam evidentes (Latour, 2012). Nessas ocasiões, torna-se perceptível a importância dos atores não-humanos para o curso da ação, e especialmente útil ao analista, que pode acompanhar a partir daí as discussões e controvérsias a respeito do papel desses elementos.

Devidamente por isso, Latour (2000; 2012) vai chamar a esses atores de “actantes”, posto que são atores importantes para o funcionamento da rede e agem sobre ela, ao mesmo tempo em que suas ações são representadas de diferentes formas por diferentes atores humanos. Esse ponto é fundamental quando se analisa inovações tecnológicas, dado que o comportamento até então desconhecido ou inexplorado dos atores não-humanos (como do átomo nas pesquisas da bomba atômica, da luz no caso do laser ou das enzimas na hidrólise da biomassa) é provavelmente o palco das controvérsias e da mudança quando se busca a inovação.

Em quarto lugar, o autor recomenda considerar as questões relacionadas à natureza e à sociedade como questões de interesse ao invés de questões de fato (duros e estáveis). Essas questões, geralmente debatidas na ciência ou na política, são sempre dotadas de significados e interesses diferentes, dependendo do ator considerado.

Considerar essas questões dessa forma é fundamental para levantar o que o autor chama de traduções, já que em um determinado curso de ação, a maior parte dos atores inseridos em uma rede resinificam os objetos em questão e modificam um pouco o curso da ação para atender os seus interesses.

Finalmente, o último passo é escrever o próprio relato. Esse relato deve ser o mais descritivo, acurado, fiel e objetivo possível. Quanto mais se detalhar a rede e o comportamento dos atores em questão, mais força terá esse relato. Esse relato é, portanto, segundo Latour (2012), sempre um relato de risco, já que no final das contas ele acabará (se for bom o suficiente) fazendo parte da própria rede em questão e agindo como um mediador que pode modificar o curso da ação.

Ao descobrir a importância dos atores em questão e tentar compreendê-los como mediadores e não como simples intermediários (como seriam considerados os atores em uma análise tradicional do social, como simples resultados da “estrutura” ou da “totalidade” que forma o social) o pesquisador estará contribuindo para o entendimento de um assunto de forma muito mais razoável e poderosa, segundo Latour, do que se tivesse utilizado teorias sociais abrangentes e de longo alcance, que não dão espaço para os atores agirem e têm de antemão o resultado antes do início da pesquisa. Ao final do estudo, se seguir esses passos, o pesquisador terá nas mãos um relato preciso da atuação

controversa e disputada sobre aquele assunto, mesmo que deixando de lado a maior parte da sociedade e considerando apenas os finos condutos por onde passam as redes.

Após expor como explorar as controvérsias, Latour (2012) se foca em demonstrar como manter o social “plano”, ou seja, sem essa dimensão extra imaginada por alguns sociólogos que atravessa tudo - “o social” -, e rastrear o que de fato para ele constitui as atividades sociais: as associações. Para isso, primeiramente o autor desconstrói dois conceitos: o de local e o global.

Segundo Latour (2012), todo local é global, ao mesmo tempo que todo global é local. Se considerarmos todo ator como um ator-rede, rapidamente compreendemos por que todo local é global: na medida em que rastreamos as conexões que permitem a um ator agir, logo percebemos a rede global que está ligada a ele. Por exemplo, uma instituição de pesquisa ou empresa que pode ser vista como local em uma análise está conectada a outras instituições ou empresas da região, do país ou de outras partes do mundo. É praticamente impossível um grupo agir localmente sem estar conectado ao mesmo tempo a outros atores, padrões que são internacionais, ideias que são globalmente difundidas (como modelos e teorias), etc. Os objetos e materiais utilizados por um grupo (que aqui pode ser uma empresa, instituição, grupo de pesquisa, lobby) costumam ser produzidos e distribuídos em outros locais, ao mesmo tempo que o pessoal que forma o grupo vem de muitos lugares e representam muitos interesses diferentes. As interações diretas devem ser encaradas como ponto final de uma miríade de pessoas, um grande número de ações que enxameiam naquela direção. Segundo o autor:

Um ator-rede é rastreado sempre que, no curso de um estudo, se toma a decisão de substituir atores de qualquer tamanho por sítios e locais *e* conectados, em vez de inseri-los no micro e no macro. As duas partes são essenciais, daí o hífen. A primeira parte (o ator) revela o minguado espaço em que todos os grandiosos ingredientes do mundo começam a ser incubados; a segunda (a rede) explica por quais veículos, traços, trilhas e tipos de informação o mundo é colocado *dentro* desses lugares e depois, uma vez transformado ali, expelido de dentro de suas estreitas paredes. Eis por que a “rede” com hífen não está só como presença sub-reptícia do Contexto, e sim como aquilo que conecta os atores (Latour, 2012, p. 260).

Como Law (2003) aponta, toda vez que o efeito de uma rede é produzido, essa rede tende a sumir de vista, dando a impressão de que age como um bloco único (como

“o governo”, uma determinada instituição, ONG ou empresa), processo que ele vai chamar de “pontualização”. Porém, isso não passa de uma ilusão. É impossível para o ser humano considerar o tempo todo todas as partes de uma rede (como todos os ministérios, secretarias, leis, portarias funcionários de um governo), sendo natural que o tomemos como um todo que age como se fosse uma coisa só. Porém, o analista não pode cair na mesma armadilha, dado que o seu objetivo é exatamente entender como determinada rede funciona.

Latour (2012) vai chamar de “oligóptico” o tipo de visão que o pesquisador da TAR deve tomar. Em oposição ao panóptico - que tudo vê, mas com poucos detalhes, o oligóptico vê pouco, mas o que vê enxerga detalhadamente. O tipo de visão obtida utilizando-se o modelo panóptico da sociologia tradicional é tratado aqui como “panoramas” e como qualquer panorama trata-se de uma visão projetada, construída, que representa uma parte (aquilo que foi captado) de uma grande região assim reproduzida. Apesar de não se opor à construção de panoramas nas ciências sociais, o autor insiste que este deve ser o ponto de chegada, e não o ponto de partida.

Se por um lado é fácil compreender por que o local é global (os cientistas sociais já estão acostumados a isso) um pouco mais complexo é por que o todo global é local. Mas basta observar como age o global, através de que meios, instrumentos, grupos e atores, que logo se percebe o por quê. Nenhuma instituição internacional ou empresa multinacional age sem sedes e agentes locais. É através dos finos condutos da rede que as ações circulam e o global pode atuar. Assim como uma transação financeira precisa atravessar longos cabos de fibra ótica, uma mercadoria exportado precisa atravessar grandes percursos marítimos de navio ou avião e uma ideia não se dissemina sem o contato face a face das pessoas, livros, sites e outros papéis.

Segundo os autores da TAR (Latour, 2012; Law, 2003), uma rede também é uma forma de agir à distância. É através, portanto, da conjunção de funcionamento devido aos seus diversos elementos humanos e não-humanos que, por exemplo, uma transação financeira pode ser realizada com sucesso (contas correntes, caixas eletrônicos, sistemas, envelopes, funcionários, administradores, seguranças, etc). Também é através dessa forma de se agir à distância possibilitada pela forma que uma rede está organizada que é possível, para o autor, se exercer o poder. Como já vimos, o poder é efeito de uma rede, e não sua causa, e é somente através desse movimento coordenado de atores humanos e não humanos que ele é possível.

Segundo Law (2003), a “estrutura social” não é um substantivo, mas sim um verbo, ou seja, algo em que muda constantemente e precisa o tempo todo ser “refeita” para funcionar. “A teoria ator-rede assume que a estrutura social não é um nome, mas um verbo. A estrutura não é algo separado e independente como os andaimes em torno de um prédio, mas um local de luta, um efeito relacional que se gera recursivamente e se auto reproduz” (Law, 2003, p. 6). Ainda segundo o autor, a análise dessa luta pelo ordenamento da rede ou estrutura é central na teoria ator-rede, sendo que as traduções são a melhor forma de entender essa luta, posto que é através da tradução que os atores alistam, modificam e representam outros atores.

É importante considerar nesse ponto que a principal característica de uma rede é que ela é composta na maior parte de espaços vazios. A sociologia de associações, portanto, deve buscar os nós dessa rede, os pontos que conectam um ator a outro, e não a influência do “todo” sobre a parte. Dessa forma, evitam-se conclusões antecipadas e equivocadas em relação a um assunto. Latour (2012) relembra que os mediadores participantes de qualquer rede, ou seja, aqueles atores poderosos o suficiente para mudar o curso da ação e fazer translações a seu favor, não determinam nada. Ao contrário da sociologia do social, a sociologia das associações vê os mediadores como perturbações, atores capazes de influenciar o resultado. Ao mesmo tempo em que as redes são finas, elas deixam a maior parte da sociedade de fora. Esse lado de fora forma o que o autor chama de “plasma social” e pode ser sempre arregimentado pelos atores participantes para reforçar seus interesses, mudando o cenário e o resultado das ações. Assim como a política pode sempre surpreender buscando novos aliados e formas de agir, os atores-rede também o fazem constantemente, tornando impossível ao cientista social dizer com precisão o resultado de alguma coisa ou dizer que A determinará sempre B. Em outras palavras:

Com o “achatamento”, desaparecem as imagens de esferas sociais e surgem atores em formatos de “estrelas”, com seus raios prolongando-se por várias direções, conforme cada uma das interações, algumas delas provavelmente inusitadas. Cabe às “formigas” da teoria ator-rede seguir com paciência esses raios, ater-se aos mediadores, ouvir o que têm a dizer, sem as generalizações apressadas que os tornariam calados intermediários (Prates, 2013, p. 208).

Para Latour (2000), tanto os objetos da ciência quanto da engenharia necessitam de representantes, posto que não podem falar por si mesmos. Da mesma forma, um

grupo ou organização são formados por diferentes atores e interesses, que não podem se expressar de forma uma a não ser por meio de um porta-voz provisoriamente colocado nessa posição. Portanto, na medida em que tomamos um objeto científico, tecnologia ou organização como um actante, ou seja, um ator-rede que é representado por diferentes discursos e representações, muitas vezes de objeto de disputa, somos capazes de acompanhar as controvérsias em torno deste actante e os atores envolvidos nessa disputa, assim como seus interesses.

A partir do exposto e para finalizar, Latour (2012) faz cinco considerações, em si negativas, para não nos confundirmos na hora de aplicar a TAR:

- 1) Nenhuma ação é isotópica: isto é, aquilo que atua em algum ponto provém de vários outros lugares.
- 2) Nenhuma interação é sincrônica: ou seja, as ações e os elementos que fazem parte de uma rede podem ter diferentes origens no tempo.
- 3) As interações não são sinóticas: pouquíssimos participantes num dado ponto da ação são visíveis naquele momento.
- 4) As interações não são homogêneas: envolvem sempre diferentes tipos de materiais, atores, figurações, etc.
- 5) E por último, as interações não são isobáricas: diferentes atores participantes de uma ação têm diferentes pesos e importância (podem ser mediadores de maior ou menor importância, ou simples intermediários).

A partir de tudo isso, Latour (2012) afirma que a teoria ator-rede é capaz de produzir, se posta em prática com o rigor apontado, um panorama detalhado sobre o objeto analisado, mostrando os atores mais relevantes naquele momento, suas figurações e os canais pelos quais circulam as ações. É exatamente aí também que reside a capacidade crítica da TAR: ao mesmo tempo em que mapeia uma rede, esse relato se torna parte dela, podendo se converter em mediador. Ao contribuir para uma compreensão científica mais apurada sobre determinado assunto, um relato minucioso pode não só modificar o entendimento sobre objeto em questão como também a opinião daqueles e de outros atores sobre o assunto.

Como Hess (2001) defende, uma boa etnografia da ciência ou da tecnologia deve ter sempre em mente a divulgação das discussões e controversas científicas analisadas

pelo pesquisador para o público em geral, além de buscar contribuir com o debate político das questões envolvidas no assunto e com grupos sub-representados nesse debate, intervindo ou até mesmo subvertendo o campo em alguns casos, apontando novas direções e alternativas se o material for completo o suficiente - postura que ele vai chamar de pós-construtivismo. Novos conceitos, questionamentos e modelos explicativos podem ser formulados a depender do caso, além de contribuições ao próprio corpo teórico dos estudos sociais da ciência e tecnologia que a pesquisa pode oferecer.

Em nossa pesquisa, devemos considerar o etanol celulósico como uma caixa-preta ainda aberta ou um actante, em torno da qual se desenvolve toda uma rede que envolve discursos, cientistas, gestores, empresários, instituições de pesquisa, agências financiadoras, programas, políticas públicas, etc. Ao acompanhar o fechamento dessa caixa-preta, somos capazes com o auxílio da TAR de identificar quais são os grupos em formação ao redor do etanol celulósico, suas relações com outros atores, com quais outros grupos disputam, seus interesses, suas demandas e dificuldades, a importância dos atores não-humanos e como eles interferem no funcionamento da rede e nas decisões, as controvérsias envolvidas nesse processo, enfim, como toda essa rede se forma e atua em torno do etanol de segunda geração.

2.3 – Críticas à TAR e considerações finais

Apesar de seu enorme sucesso dentro dos estudos sociais da ciência, a TAR, como qualquer outra teoria ou modelo explicativo, não chegou até hoje ileso a críticas. Seus principais pressupostos são duramente criticados inclusive por autores que inspiraram sua criação e seus fundamentos teóricos. A seguir, trazemos uma revisão e discussão a respeito dessas críticas.

Em seus estudos, Latour (1994) rejeita o modo dos cientistas explicarem o mundo através do clássico esquema “sujeito/objeto”, onde um sujeito - representante do polo sociedade - pensa e explica um objeto (polo natureza). A partir desse esquema, a ciência explicaria tudo em termos sociais ou naturais, de forma a sempre separar natureza e sociedade num processo que o autor chama de purificação.

Segundo Latour (1994) todas as questões são ao mesmo tempo científicas e políticas. Todas elas tratam de um objeto natural e social ao mesmo tempo. A divisão clássica entre Sujeito/Sociedade e Objeto/Natureza não poderia sustentar um mundo tão

infestado de objetos híbridos (ou seja, sociais e naturais ao mesmo tempo). Segundo Latour, a “triplição crítica”, que divide o mundo em fatos, política (ou poder) e discurso, ignora completamente o que os modernos mais fazem: a hibridização das coisas. Para o autor, tudo se dá na realidade entre os dois pólos. Tudo seria, na realidade, fato e construção ao mesmo tempo sendo impossível diferenciar a natureza do seu entendimento.

Quanto mais desenvolvido é um objeto, maior o grau de mistura. Não há descoberta fora de modelos (socialmente estabelecidos). Quanto mais a fundo se vai em uma pesquisa ou quanto maior é um projeto, maior a rede tecno-social necessária para sustentar essa pesquisa ou projeto (Latour, 1994). Ou seja, natureza e sociedade seriam coproduzidas nesse processo.

Em um artigo intitulado “Anti-Latour”, David Bloor (1999) rebate os principais elementos da TAR e a visão que Latour tem do Programa Forte. Segundo o autor, Latour (1993) confunde os eixos teóricos do Programa Forte com a sua própria forma de ver o mundo e acusa o Programa Forte de explicar a natureza à partir da sociedade (construtivismo social). Porém, segundo Bloor (1999), o Programa Forte seria no fundo exatamente o contrário do que Latour (1994) entende, sendo na realidade um representante da vertente do realismo ou naturalismo.

O Programa Forte (Bloor 1998, 1999) atribui uma simetria em relação ao fracasso e o sucesso científico ou entre crenças falsas e verdadeiras já que, segundo o autor, ambos os casos compartilham as mesmas causas naturais e sociais. O Programa inovou ao se propor explicar sociologicamente o conteúdo científico e não só o contexto social como até então a sociologia da ciência se empenhava (Merton, 1970,1974). Porém, segundo o autor, o Programa Forte é entendido muitas vezes de forma confusa pelos estudos sociais da ciência e muita dessa confusão se deve à percepção errônea de Latour (1994). Nas palavras de Bloor:

Latour’s criticism, then, starts by ignoring the fact that the Strong Program is part of a naturalistic and causal enterprise. From the standpoint of the Strong Program, society itself is part of nature. (...) A correct, naturalistic reading of the symmetry principle implies that both ‘nature’ (that is, non-social nature) and society will be implicated in the formation of belief. The ‘symmetry’ to be insisted upon is that both types of cause, both our experience of the world of things and the world of people, will be implicated in all bodies of collective belief (Bloor, 1999, p. 87-88).

Segundo Bloor (1999), Latour não diferencia crença ou conhecimento de fato ou realidade e isso é a principal razão da confusão. Para Bloor, a natureza é anterior aos fatos científicos. O que se passa na verdade é que a natureza não determina o nosso conhecimento, sendo muito mais vasta e complexa do que o nosso entendimento sobre ela. Portanto, o papel do cientista da ciência seria explicar as condições sociais (paradigmas científicos, teorias, modelos, instituições, hierarquias, etc) que influenciam e dão condições à construção desse conhecimento. Sendo o nosso conhecimento sobre a natureza e a sociedade sempre impreciso e incompleto, dado a sua complexidade e fugacidade, o conhecimento científico está sempre mudando e se aprimorando. Mas isso não quer dizer que não existe uma realidade anterior que é independente das nossas crenças.

Outro ponto muito criticado na TAR se refere à agência das coisas ou atores não-humanos. Para Latour (1994, 2000, 2012), os atores não-humanos são tão importantes quanto os humanos, sendo corresponsáveis pela agência dentro de uma rede (tanto que são considerados também atores, ou actantes). Isso significa que em uma rede formada, por exemplo, de analistas de sistema, computadores e clientes, os computadores influenciariam no resultado final e, por consequência, nas decisões dos dirigentes da empresa. Ou ainda os elétrons de uma linha telefônica, cujo comportamento influenciou a maneira pela qual essas linhas são construídas (Latour, 2000) ou o papel das bactérias nas doenças, etc (Latour, 1988).

Porém, alguns autores questionam se isso pode ser considerado agência (Bloor, 1999; Ingold, 2008; Collins & Yearley, 1992). Para Bloor (1999) isso na verdade não é agência como a dos atores sociais, mas sim “agência causal”, ou seja, a causalidade implicada na natureza a qual os cientistas se desdobram para entender. Nenhum computador, elétron ou bactéria toma decisões como as pessoas. Colocar os dois tipos de agência como se fossem a mesma coisa é para o autor um absurdo que serve apenas para confundir e manter a desnecessária não-distinção do esquema sujeito/objeto (Bloor, 1999, p.97).

Para Ingold (2008), as ações em uma rede não são uma agência distribuída entre os atores humanos e não-humanos como sugere Latour, mas sim uma interação de forças que são conduzidas por meio da rede. Dessa forma, os atores sociais ainda são os agentes, apesar da participação dos objetos e tecnologias que simplesmente dão condições para essas ações.

Segundo Collins e Yearley (1992), a tentativa de Latour e Callon de radicalizar a simetria sociedade/natureza, atribuindo agência indiscriminadamente a atores humanos e não-humanos, não passaria de um jogo de palavras, elaborado porém ingênuo, posto que a “ação” (ou comportamento no ponto de vista dos autores) dos elementos da natureza (como seres vivos ou fenômenos naturais) é sempre vista a partir de um entendimento humano – historicamente e contextualmente situado – não passando, portanto, de uma visão antropocêntrica porém enganosa.

Para Collins e Kurschel (2010), há uma grande diferença entre as ações humanas, capazes de realizar o que chamam de ações polimórficas, ou seja, ações que envolvem uma gama incalculável de raciocínios e escolhas, como, por exemplo, a ação de um guarda ou porteiro ao decidir quem entra e quem não entra em um lugar - o que envolve experiências anteriores, conhecimento, valores, preconceitos, interpretação de ordens, etc –; e as ações mimeomórficas, ou seja, as ações puramente mecânicas como apertar o botão de abrir toda vez que qualquer pessoa se aproximar de uma porta. Segundo os autores, as máquinas são incapazes de tomar decisões morais, sendo capazes de realizar apenas ações mimeomórficas, ou seja, realizar mecanicamente o que estão programadas (por humanos) a fazer. Mesmo inteligências artificiais e redes neurais não passariam de uma série de ações mimeomórficas em uma cadeia bastante complexa, porém, ainda mecânica. Dessa forma, segundo os autores seria errôneo atribuir agência à máquinas ou mecanismos não-humanos, postos que aquilo que realizam não passa de um comportamento programado.

Para esses autores, portanto, ao utilizar o discurso dos cientistas e engenheiros para tentar entender a resolução das controvérsias, os analistas da TAR estariam sendo prosaicos, pois, sem conhecimento técnico sobre o assunto, estariam apenas reproduzindo o discurso dos cientistas de forma acrítica. Dessa forma, para Collins e Yearley (1992) a análise simétrica da TAR cai numa forma de naturalismo ingênuo, ignorando o trabalho que caberia ao sociólogo de explicar como as controvérsias são resolvidas. Por fim, acusam a metodologia da TAR de ser conservadora, pois, ao atribuir agência aos atores não-humanos (ou natureza) estariam entregando de volta aos cientistas da natureza a autoridade exclusiva para resolver controvérsias.

Em sua defesa, Latour e Callon (1992) apontam que o entendimento de Collins e Yearley (1992) sobre o funcionamento da TAR estaria equivocado, pois, natureza e sociedade seriam pontos de chegada, e não de partida. Segundo Latour e Callon (1992),

Collins e Yearley (1992) consideram somente uma dimensão das controvérsias e fatos científicos, a linha que separa o polo natureza do polo sociedade, ignorando a dimensão perpendicular a esta (translação), que consideram muito mais importante, pois é onde ocorre todo o desenvolvimento de um fato científico ou tecnologia (Latour, 1994; 2000) por meio de negociações, descobertas, adaptações e fabricação, característicos da ciência e tecnologia e que os cientistas da ciência, inclusive Collins (Collins & Pinch, 2003; 2016), se esforçaram tanto para demonstrar.

Para Latour (1994; 2001), muito mais importante do que identificar se algo pertence à natureza ou à sociedade, é demonstrar como tudo é uma mistura dessas duas coisas, um híbrido. Por meio do processo de tradução (ou translação), esses quase-objetos vão gradualmente ganhando forma e se estabilizando na medida em que cientistas, engenheiros, empresários, políticos e tecnologias se alinham para formar uma rede, que inclui tanto atores humanos quanto não-humanos.

Ou seja, para acompanhar a criação e desenvolvimento de qualquer coisa, não basta se ater ao discurso e às negociações dos atores humanos. Qualquer objeto ou hábito social envolve elementos da natureza para existir e se solidificar na nossa vida cotidiana. Portanto, é fundamental para a TAR acompanhar o quanto esses atores não-humanos, ou actantes, influenciam na evolução de um projeto e na decisão dos outros atores. Porém, sem cair num determinismo ou naturalismo, posto que a natureza jamais fala ou se representa sozinha.

É interessante notar que enquanto Bloor (1999) acusa a TAR de ser excessivamente construtivista, ignorando a precedência da natureza, Collins e Yearley (1992) apontam exatamente o contrário, acusando a TAR de atribuir demasiadamente poder à natureza. Isso de certa forma aponta o quanto a TAR está exatamente no meio das desses extremos. Ao atribuir agência tanto aos atores humanos quanto não-humanos, a TAR tenta fugir tanto do determinismo naturalista quanto do construtivismo social, ao mesmo tempo em que atribui importância e causalidade à natureza e à sociedade. No fim das contas, nenhum desses dois polos existiria concretamente, sendo sempre o resultado de translações que mobilizam actantes sempre híbridos, formados tanto de elementos não-humanos (por falta de um termo melhor), que fogem do nosso controle, e pontos de vista (discursos, conhecimento, objetivos), sempre mutáveis e contingentes.

Como Latour (2001) demonstra, os conceitos ou tecnologias são como o coração palpitante de um fenômeno híbrido que circula por diversas veias e artérias, como os

pares, as disciplinas da ciência, financiadores, opinião pública, laboratórios e os atores não-humanos. Tudo precisa estar muito bem amarrado e funcionando harmoniosamente para um artefato científico ou tecnológico converter-se em fato ou inovação. Qualquer separação entre sociedade e natureza, ou ainda ciência e contexto social é demasiadamente artificial e a posteriori. O que o autor busca é demonstrar exatamente como essa dinâmica não é pura, mas sim uma mistura de diversos elementos heterogêneos.

Apesar das críticas, acreditamos que TAR é bem adequada à nossa análise. Considerar o etanol de segunda geração como um **híbrido** - oriundo de uma intensiva fabricação e associação de atores humanos e não-humanos – e ao mesmo tempo os atores não-humanos dessa rede enquanto **actantes** – ou seja, atores fundamentais nessa rede, que interferem de maneira direta no seu funcionamento e por consequência nas decisões dos demais atores - nos permite rastrear não só os programas relacionadas ao E2G e o discurso das empresas, mas também os arranjos tecnológicos envolvidos nesse processo, a diferença e interferência que esses actantes provocam na rede, deslocando meios, expectativas e objetivos e, portanto, enxergar nosso objeto como resultado de todos esses fatores. Isso possibilita ir além de um simples levantamento de políticas e problemas organizacionais e buscar compreender como os desafios tecnológicos e a atuação dos atores não-humanos afetam os programas das empresas e do governo e vice-versa.

Como veremos, o desenvolvimento do etanol celulósico ainda é uma caixa-preta não fechada, com diversas questões não resolvidas e actantes sem uma figuração definida, aberta a novas associações. O E2G possui vantagens e desafios muito específicos que afetam não só os planos dos produtores, mas também as perspectivas de desenvolvimento tecnológico local, os programas governamentais que apoiam esses investimentos e as perspectivas com relação à política energética.

Portanto, a visualização do desenvolvimento e produção do etanol celulósico como uma rede heterogênea (sócio-técnica), formada por organizações, políticas, tecnologias e organismos biológicos, por meio de configurações específicas, só enriquece a nossa análise, pois nos permite aferir como uma coisa interfere na outra e como questões aparentemente marginais podem ser decisivas nas escolhas dos arranjos tecnológicos e na formulação de políticas e programas voltados ao tema.

Por fim, como resultado dessa análise, esperamos compreender não só como as políticas e programas interferem no desenvolvimento do etanol celulósico, mas também

como esse desenvolvimento afeta a política energética como um todo, modificando ou fortalecendo a sua atual configuração, que como veremos, não é neutra e imparcial.

3 – O Setor sucroalcooleiro no Brasil: histórico e situação atual

Nesta seção, pretendemos levantar o histórico do setor sucroenergético no Brasil, descrevendo a criação e a trajetória dos atores e das políticas mais importantes do setor, assim como analisar seus movimentos de translação com base em nosso referencial teórico. Num primeiro momento, abordamos como a produção de álcool surgiu no Brasil, quais eram os principais atores nesse primeiro período e como se iniciaram as pesquisas em torno da cana-de-açúcar e o álcool. Em seguida, analisamos a criação do Proálcool (Programa Nacional do Álcool) com base no nosso referencial teórico, apresentando as múltiplas translações e controvérsias que envolveram a sua criação. O objetivo desta seção é contextualizar e descrever o surgimento dos principais atores do setor sucroenergético, assim como o seu histórico controverso. Por fim, trataremos da recente crise e atual situação do setor sucroenergético no Brasil, e também do sistema de distribuição do etanol, centralizado nos grandes produtores e distribuidores, e como isso contribui com a concentração da produção.

3.1 – A criação da Copersucar e seu pioneirismo tecnológico

As primeiras manifestações de interesse do etanol enquanto combustível automotivo no Brasil se deram no final do século XIX, quando os produtores da agroindústria canavieira se articularam para encontrar novos usos para este produto. Em 1903, a Sociedade Nacional de Agricultura (SNA) organizou o evento “Exposição internacional de aparelhos de álcool”, no “Congresso Internacional do Álcool”. Desde então, o álcool já era debatido como uma saída para a agroindústria canavieira (Dunham et al, 2010 apud Silva, 2013).

O álcool, como subproduto da agroindústria da cana-de-açúcar, ganhou mercado a partir de 1931, através do decreto nº 19.717/1931 instituído pelo então presidente Getúlio Vargas. Esse decreto tornou obrigatória a adição de 5% de álcool anidro à gasolina importada para os veículos normais e 10% para os veículos oficiais. Isso ocorreu porque o governo na época queria criar uma solução para a agroindústria canavieira e evitar o seu colapso, já que esta passava por uma crise de superprodução de açúcar e falta de demanda no mercado devido à crise de 1929. O governo também incentivou as pesquisas sobre o álcool carburante, que estavam sendo

realizadas no Brasil desde 1925, na Escola Politécnica de São Paulo (BNDES & CGEE, 2008; Maia, 2010).

Em 1933 é criado o Instituto de Açúcar e Alcool (IAA) que seria responsável por regular a produção e comercialização de cana-de-açúcar e seus produtos no Brasil. Cabia ao IAA definir a quantidade que seria transformada em açúcar ou álcool, exportada ou estocada, assim como pela autorização de criação de novas usinas e cotas de produção. Suas atribuições foram crescendo ao longo dos anos, assim como seu poder de intervenção (Olalde, 1992; Castro Santos, 1993; Scandiffio, 2005).

A partir da década de 1940 a produção de açúcar e álcool começou a crescer no Brasil devido à segunda guerra mundial, que prejudicou a exportação de café e favoreceu a indústria sucroalcooleira. Isso levou à expansão da indústria de açúcar paulista, que se equiparou à produção pernambucana (a maior até então) já em 1945. Além disso, em 1946 o Instituto de Açúcar e Alcool (IAA) flexibilizou a cota de produção de açúcar e álcool para o mercado interno, que agora podia criar sua própria demanda. Com o fim da guerra, a partir dos anos 50 o mercado externo de açúcar reaquece e o Brasil exportou 35% da sua produção entre 1957 e 1961, mesmo com a tendência de queda nos preços do açúcar. Tudo isso estimulou a produção de cana-de-açúcar no Brasil, especialmente em São Paulo (Olalde, 1992).

O Estatuto da Lavoura Canavieira decretado em 1941 regulamentava a compra e venda de cana-de-açúcar e etanol e estabelecia que nenhuma usina poderia moer mais de 60% de canas próprias. Esse regulamento visava defender os produtores nordestinos na época, devido ao fato destes focarem seus esforços na produção de cana, ao passo que a maior parte das usinas de açúcar e álcool estavam localizadas em São Paulo. Com isso o governo da época pretendia equilibrar a produção e as relações regionais, garantindo aos produtores nordestinos, relegados à função de fornecedores, um destino aos seus produtos. Esta legislação também pretendia com isso criar uma “classe média rural”, incentivando a produção em pequenas propriedades. Esse mesmo estatuto previa que os usineiros não podiam comercializar diretamente seus produtos, sendo obrigados a repassá-los a intermediários atacadistas.

Porém, segundo Olalde (1992), essa iniciativa teve um resultado oposto ao que era esperado pelo governo. O número de fornecedores em São Paulo saltou de 326 em 1942 para 9422 em 1968. Isso contribuiu ainda mais para a concentração no sudeste, já que os empreendimentos agroindustriais não precisavam mais investir ao mesmo tempo na etapa agrícola e na industrial, reduzindo assim os riscos. Posteriormente, quando já

havam acumulado capital suficiente, os antigos fornecedores podiam investir em usinas e gradualmente a presença de fornecedores no sudeste foi diminuindo. Ainda, segundo a autora, o estabelecimento de cotas não significou um impedimento à produção, mas sim uma verdadeira defesa às empresas já estabelecidas e uma reserva de mercado para o crescimento dessas. Com isso ocorre uma verdadeira transferência da hegemonia da agroindústria do nordeste para São Paulo (Olalde, 1992).

A Copersucar foi criada em 1959 através da fusão de duas outras cooperativas de São Paulo, a Cooperativa Piracicaba de Usinas de Açúcar e Álcool (COOPIRA), e a Cooperativa de Usineiros do Oeste (COPERESTE), ambas formadas em 1953. Essas cooperativas são resultado de uma rede formada por usineiros de São Paulo na época com vistas a defender seus interesses (Olalde, 1992; Castro Santos, 1993).

Insatisfeitos com a política de produção e comercialização estabelecida pelo IAA, a rede formada pela Copersucar visava contrapor-se às resoluções e decisões do IAA, especialmente os preços definidos pelo instituto. Nesse sentido, Santos (1987) observa que:

Até os anos 50 o IAA detinha o monopólio da intermediação dos interesses dos produtores de açúcar e álcool. Posteriormente, com a capital e produção concentrando-se no Centro-Sul, os produtores dessa região fortaleciam seu poder de barganha e suas cooperativas tornavam-se poderosas. Desta forma, esses produtores puderam prescindir do IAA como broker dos seus interesses vis-a-vis outros órgãos envolvidos na política do açúcar e do álcool (Castro Santos, 1987).

A Copersucar, nessa época, era contra a política do IAA de produção de álcool em usinas autônomas, defendendo a produção em usinas anexas, ou seja, o fim da limitação do processamento de até 60% de matéria-prima própria (Scandiffio, 2005). Além disso, segundo Olalde (1992), um dos principais objetivos dos usineiros de São Paulo ao se congregarem em torno da Copersucar era tentar eliminar os intermediários (atacadistas), que, segundo eles, ficavam com a maior parte dos lucros. Isso já pode ser notado no discurso de posse do presidente da Coopira, Duvílio Ometto, em 14/09/1953:

Chegamos a uma situação tal em que o usineiros não mais recebe o justo preço do seu produto, e, como se não bastasse isso, fica ainda à mercê dos manobristas do mercado, com a consequência lógica da flutuação dos preços. A solução simples e evidente, por si

mesma, exige, entretanto, um elevado espírito de classe, um alto estímulo de solidariedade. É o princípio da cooperação na defesa dos interesses comuns (A Gazeta, 14/09/1953 apud Olalde, 1992).

Mas a intenção dos usineiros não era só eliminar os intermediários, mas sim consolidar um sistema de vendas unificado semelhante a um cartel. Com a constituição da Copersucar - formada por mais de uma centena de produtores do estado de São Paulo - essa passou a dominar uma parte significativa da produção no estado, o que constitui, segundo Marco (1991), um verdadeiro cartel. Em suas palavras:

Se a cartelização da produção significa o estabelecimento de acordo comercial entre empresas e produtores, as quais, embora conservem a autonomia interna, se organizam em entidades a fim de dominar o mercado, determinar preços, podemos afirmar então que a cooperativa, na medida em que exerce tais funções, pode ser considerada um cartel (Marco, 1991).

Em 1960 o IAA traz de volta as medidas restritivas devido a muitas exportações na década de 50 acabarem tendo prejuízo. Porém, com a revolução cubana e o embargo dos norte-americanos à Cuba em 1961, o mercado externo volta a apresentar vantagens e ser atrativo para o Brasil, especialmente o norte-americano. Com isso, em 1963 é formulado o Plano de Expansão da Indústria Açucareira Nacional, que tinha como objetivo ampliar a produção de 63 milhões de sacas para 100 milhões, o que representava um aumento de 100% da produção em São Paulo e a autorização de inaugurar mais 50 usinas (Olalde, 1992).

Porém, logo no primeiro ano (1964) ocorre uma crise de superprodução, o que leva a criação pelo governo militar em 1965 do Fundo Especial de Exportações, que pretendia modernizar o setor com financiamentos para o setor com condições extremamente favoráveis, como ausência de correção monetária, juros baixos e prazos de até 15 anos (Olalde, 1992).

Em 1971 tem início a política de modernização do setor de açúcar e álcool com o lançamento do Planalsucar (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar) e o Programa de Racionalização da Agroindústria Açucareira pelo IAA. O primeiro programa era dedicado ao aprimoramento da cana-de-açúcar e da sua produtividade, principalmente através do desenvolvimento de novas variedades de cana. Já o segundo era responsável por dar suporte e estimular as fusões, incorporações e realocação das

usinas. A produção de cana-de-açúcar no país, então, aumenta em 30% na safra de 74/75 em comparação com a de 70/71 (Olalde, 1992).

É preciso lembrar que nessa época o governo militar queria incentivar a ciência e as pesquisas no Brasil através de políticas e programas que priorizavam setores considerados estratégicos, entre eles a agricultura. De acordo com Baumgarten (2008), a partir dos anos 70 o governo militar tentou consolidar a ciência e tecnologia de base no Brasil. Muitas universidades federais foram criadas, assim como fundos dedicados à pesquisa científica e tecnológica como o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). O Estado, portanto, adota uma postura interventora e de planejamento, priorizando e investindo em determinados setores considerados estratégicos para a indústria brasileira, como a agricultura, informática, química e petroquímica, siderurgia, metalurgia e aeronáutica (Baumgarten, 2008, Dias, 2012).

Porém, segundo a autora, implicitamente havia um forte descaso por parte do Estado com a C&T brasileira, já que os governos incentivavam a importação de tecnologias e bens de capital ao invés de estimular a geração de tecnologias nacionais próprias. Ao mesmo tempo, o governo militar excluía sistematicamente a coletividade científica da formulação dos programas e da política científica, ignorando muitas vezes suas demandas e indicações (Baumgarten, 2008). O Planalsucar é, portanto, decorrente dessa política de incentivo aos setores considerados estratégicos pelo governo militar, que pretendia reforça-los e torna-los mais independentes. Porém, ao mesmo tempo em que tentavam reforça-los, não escutavam muito as reivindicações desses setores.

Em 1968 a Copersucar convida o geneticista Albert J. Mangelsdorf da Estação Experimental de Cana do Havá (que o IAA havia se recusado a contratar, apesar dos pedidos dos usineiros paulistas) para ajudar na criação do CTC e do Programa de Melhoramento Genético. Nessa época, a Copersucar estava muito mais interessada em modernizar suas usinas e ter retorno em curto prazo. Com essa finalidade, o CTC é inaugurado em 1969 e em 1973 contrata o engenheiro Deon Hullet, da África do Sul - onde estavam localizadas as usinas de açúcar e álcool mais modernas e eficientes do mundo na época - como consultor para a modernização das usinas sócias da Copersucar, juntamente com os brasileiros Sidney Brunelli, que já trabalhava na modernização das usinas paulistas há 4 anos, e Pierre Chenu, que coordenou o programa (Mariotoni, 2004).

Essa iniciativa, que trouxe diversos novos atores humanos e não-humanos à rede formada pela Copersucar, conseguiu dobrar a capacidade de produção das usinas modernizadas utilizando o mesmo equipamento, apenas com pequenas adaptações e tecnologias simples, como a calha Donnelly, rolo de pressão e adição de água na moagem. Ainda, não havia a preocupação de proteger as tecnologias com patentes, sendo as invenções entregues às usinas pelo pessoal do CTC e essas procuravam uma indústria que pudesse atendê-las, geralmente a Dedini e a Zanini, ou faziam os equipamentos elas mesmas (Mariotoni, 2004).

Em 1974 tem fim o Acordo Internacional do Açúcar, acordado em 1969, que definia os preços no mercado internacional e condições que eram favoráveis à exportação no Brasil, ao mesmo tempo em que começam a se popularizar os adoçantes, o que faz o preço do açúcar cair vertiginosamente no mercado internacional. Porém, no mesmo ano é lançado o Proálcool, o qual exploraremos na seção subsequente. Com o programa, a produção de álcool salta de 544 milhões de litros em 1975 para 11 bilhões de litros 86, dos quais São Paulo era responsável por 65% da produção. O programa representou a definitiva expansão, concentração e consolidação da hegemonia paulista na produção de cana-de-açúcar e álcool.

Além de se opor à política de preços do IAA, os usineiros de São Paulo criaram o CTC (Centro de Tecnologia Copersucar na época) a fim de traduzir seus interesses com relação às pesquisas em oposição ao que era oferecido pelo governo na época. Em 1969 já existia o Laboratório Agroindustrial de Piracicaba, precursor do CTC e a Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Araras, ambos no estado de São Paulo. Esses laboratórios desde então já se preocupavam com o desenvolvimento de novas variedades de cana, pesquisas na área de mecanização agrícola, irrigação, uso do solo, uso de herbicidas, adubação, etc.

A construção e manutenção do CTC só foi possível devido ao grande tamanho da Copersucar, o que permitiu a escala necessária para investir num centro de pesquisa. Inaugurado em 1979, quando se iniciava a segunda e melhor fase do Proálcool, o centro dispunha de um largo orçamento devido ao grande número de usinas que faziam parte da rede da Copersucar. Os sócios deveriam contribuir com 1,7% do seu faturamento, o que representava uma quantia pequena individualmente, mas volumosa no seu conjunto, o que na época de sua inauguração já somava cerca de US\$20 milhões (Olalde, 1992).

Essa configuração política e econômica permitiu à Copersucar ampliar sua rede de pesquisa, traduzindo as pesquisas que já desenvolvia em seu laboratório em

Piracicaba e junto às usinas em um novo ator-rede, no caso o CTC, aumentando significativamente o investimento em P&D e articulação com outros atores-rede.

Mas por que a Copersucar preferiu internalizar as atividades de P&D, criando o CTC, ao invés de relega-los às instituições de pesquisa governamentais que faziam isso com recursos públicos? De acordo com os técnicos entrevistados do CTC, os programas do IAA buscavam desenvolver variedades que se adequassem de forma razoável no território nacional inteiro, e não desenvolver variedades específicas para cada região, como São Paulo, que possui um solo e um clima muito diferentes do nordeste.

Segundo Olalde (1992), o IAA e posteriormente o Planalsucar deveriam responder a todas as demandas nacionais, especialmente as do nordeste, que se enquadrava bem na estrutura do IAA. Já o CTC poderia responder diretamente aos interesses dos usineiros paulistas.

Ainda, segundo Belik (1985), enquanto o Planalsucar se dedicava às pesquisas mais básicas, sem retorno financeiro imediato, a Copersucar se preocupava mais com o retorno imediato. As pesquisas do Planalsucar ainda tinham, segundo o autor, um cunho mais distributivistas, preocupados, por exemplo, com técnicas de plantio e colheita que poderiam auxiliar o pequeno produtor, técnicas que não interessavam aos produtores paulistas. Além disso, a maior parte dos esforços do Planalsucar, como o desenvolvimento de novas variedades de cana, eram voltados para a região nordeste, onde estava a maior parte da produção na época. Por fim, o autor aponta que a partir da década de 60 o Estado deixa de dar tanta atenção à cana e o programa vai perdendo cada vez mais força e recursos. Segundo o autor, “estas hipóteses formam um corolário para a afirmação de que a Copersucar procurou desenvolver o seu próprio Centro de Tecnologia para São Paulo, na medida em que percebeu que o Planalsucar não iria favorecer diretamente os usineiros de São Paulo” (Belik, 1985, p. 111). Através de entrevistas como os dirigentes da Copersucar na época da pesquisa, o autor coloca:

Os dirigentes da empresa entendem que a criação do CTC não foi desperdício de recursos. Simplesmente a Copersucar não “acreditou” no Planalsucar, como em outros programas do governo. (...) Observa-se claramente pelo que foi exposto, que há uma divisão do trabalho de pesquisa em cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Neste sentido, a pesquisa de caráter básico fica destinada ao Planalsucar, que a partir daí cuida do desenvolvimento e distribuição, levando em conta todos os riscos e desdobramentos da inovação. Já a

Copersucar visa respostas imediatas a problemas colocados pela produção e, como se trata de pesquisa voltada à iniciativa privada, não há por que investigar todos os seus desdobramentos (Belik, 1985, p.112-113).

Isso demonstra como a Copersucar se organizava claramente como uma rede com representações e interesses próprios, muitas vezes divergentes da política nacional da cana-de-açúcar. A criação do CTC pode ser vista a partir desses fatos como uma forma que a Copersucar encontrou de traduzir as oportunidades de P&D da cana-de-açúcar em São Paulo para os seus próprios interesses, em oposição à atenção que o IAA dava ao nordeste.

As atividades de pesquisa da Copersucar começaram em 1969 com o Programa de Melhoramento e o Laboratório de Análise de Qualidade (que fazia parte do departamento de comercialização). Esses dois programas foram unificados para formar o CTC em 1979. Além da contribuição anual das usinas, que chegou a representar até 2% do faturamento das empresas cooperadas, o CTC contava com recursos derivados das atividades de assistência técnica e elaboração de projetos prestados aos cooperados. Na época de sua inauguração, somente 30% do orçamento do CTC era voltado às pesquisas, sendo o restante voltado a essa assistência técnica (Olalde, 1992).

É necessário observar que nessa época apenas duas empresas prestavam esses serviços: a Dedini e a Zanini, que dominavam completamente também o mercado de equipamentos na época. Fundada em 1920 em Piracicaba, a Dedini prestava serviços de assistência técnica e reparos, atividade quase inexistente na época. Favorecida pelas dificuldades cambiais da década de 20 e 30, em 1930 ela passa a fabricar também bens de produção, como moendas, caldeiras, evaporadores, etc.

Até então, esses bens eram exclusivamente importados. Com a segunda guerra mundial, as importações se tornam cada vez mais difíceis e isso contribui para o crescimento da Dedini, que também entrava com uma parte acionária às usinas como parte do pagamento pelos equipamentos. Com uma origem semelhante, a Zanini é fundada em 1950 na região de Ribeirão Preto. Juntas, essas empresas dominavam o mercado de equipamentos e são até hoje as principais fornecedoras no país (Negri, 1977; Varrichio, 2012).

As condições econômicas e geopolíticas na época favoreceram, portanto, a criação e crescimento dessas empresas fornecedoras de equipamento em São Paulo, onde se concentravam a maior parte das usinas. Esses atores podem ser considerados

como parte de uma rede sociotécnica, juntamente com a Copersucar e as usinas paulistas, responsáveis pelo desenvolvimento e fornecimentos dos atores não-humanos necessários para a indústria sucroalcooleira paulista. Essas empresas, juntamente com o CTC, são também as responsáveis pela dominação que o setor sucroalcooleiro brasileiro possui das tecnologias de produção de cana-de-açúcar e etanol, considerada a mais produtiva e eficiente do mundo.

Na época de sua inauguração, a maior parte dos esforços de pesquisas do CTC (60%) concentravam-se na área de aumento de eficiência fermentativa ao invés de desenvolvimento de novo processos, devido ao fato da matéria-prima ser a parte mais custosa da operação (2/3 dos custos totais), e não os equipamentos. Com isso, o rendimento fermentativo passou de 75% antes do Proálcool para 86% em 1983 (Olalde, 1992).

Em 1989 as exportações deixam de ser controladas pelo Estado e passam a ser privadas. Em 1990 é extinto o IAA dentro do programa de privatizações iniciado com o governo Collor, o que põe fim também ao Planalsucar, o maior responsável pelo melhoramento genético e desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar no país. Porém, desde 1969 a Copersucar já possuía um programa de melhoramento genético e a Copereste desde 1962. Com a extinção do Planalsucar o programa do CTC passa a ser um dos maiores do país e atualmente possui um dos maiores bancos de variedades do mundo.

3.2 - O Proálcool

O Proálcool (Programa Nacional do Álcool) foi um programa criado em meados da década de 1970 com o objetivo de estimular a produção de etanol para ser utilizado como combustível nos automóveis particulares por meio de financiamentos e subsídios governamentais. O programa foi pensado e implementado em meio à crise do petróleo que se iniciou em 1973 e se estendeu por quase duas décadas. Devido às altas do barril do petróleo, várias ações foram tomadas no mundo todo para tentar diminuir a importação de petróleo. No Brasil, a principal medida adotada foi a criação desse programa para diminuir a quantidade de gasolina utilizada nos veículos particulares.

Instituído em 1975 através do Decreto nº 76.593 de 14 de novembro de 1975, o programa visava estimular a produção de etanol para abastecer os automóveis e

diminuir a importação de petróleo. Apesar do expressivo aumento do barril de petróleo, que foi de US\$1,90 o barril em 1972 para US\$12,55 em 1974 (Carvalho e Corrija, 2007) e US\$38,0 em 1981 (Castro Santos, 1993), não é possível explicar o surgimento do programa apenas por este motivo.

Exatamente ao mesmo tempo em que se dava a crise do petróleo houve também uma queda dos preços internacionais do açúcar, o que poderia levar o poderoso setor sucroalcooleiro a uma crise na época. Portanto, o surgimento do Proálcool não pode ser entendido simplesmente como uma resposta à alta do petróleo, já que se isso fosse o único problema, outras soluções poderiam ter sido adotadas. Na verdade, segundo a opinião de muitos autores, o Proálcool surgiu com o duplo objetivo de amenizar a crise no setor de combustíveis e ao mesmo tempo salvar a indústria sucroalcooleira.

3.2.1 - As fases do Proálcool

A maior parte dos autores divide o desenvolvimento do Proálcool em três fases. Na primeira fase, que compreende os anos entre 1975 e 1978, temos a criação do programa, logo após o primeiro choque do petróleo em 1973, quando o barril passou de US\$1,90 para US\$11,20. Nessa fase, o objetivo do programa era aumentar a produção de cana-de-açúcar e álcool anidro no Brasil para adicioná-lo à gasolina, reduzindo assim a quantidade de petróleo a ser importado. Nesse momento, a proporção de álcool que deveria ser misturado à gasolina não foi fixada nacionalmente, variando de acordo com a região e a época, sendo determinada por portarias do Conselho Nacional do Petróleo (CNP) de acordo com a produção. A meta nessa fase do programa era produzir 3 bilhões de litros de etanol anidro até 1980, meta que foi atingida em 1979 (Castro Santos, 1993; Carvalho e Carrijo, 2007).

O setor sucroalcooleiro ainda contou com apoio governamental, que concedeu financiamentos e subsídios ao setor. A Petrobrás foi encarregada da compra, transporte, armazenamento, distribuição e a mistura do álcool à gasolina. Ficou a cargo do governo também a determinação do preço de venda do produto, garantindo assim a lucratividade do setor (Michellon, Santos e Rodrigues, 2008).

É importante salientar que ao mesmo tempo em que o preço do barril de petróleo aumentou, os preços no mercado internacional do açúcar caíram, indo de US\$0,48 por libra em 1974 para US\$0,13 em 1975 (Oliveira, 2004). Veremos mais detalhes sobre este assunto mais pra frente em nossa análise.

Na segunda fase, que vai de 1980 a 1985, temos a expansão e auge do programa. Em 1979 o preço do barril do petróleo sobe de novo após a invasão do Kuwait pelos EUA, elevando o preço do barril de US\$12,91 em 1978 para US\$29,19 em 1979, ou seja, um aumento de 126% (Oliveira, 2004). Nessa fase, as metas são ampliadas e além da adição de etanol à gasolina, passa a se visar a produção de etanol hidratado para utilização nos automóveis movidos exclusivamente a álcool. A produção de etanol chegou a 11,8 bilhões de litros/ano em 1985-86 (Carvalho e Corrija, 2007).

Nessa fase, a participação da gasolina no consumo de combustíveis líquidos declinou de 98,9% em 1975 para 42,8% em 1986 (Carvalho e Corrija, 2007). Ao mesmo tempo, a indústria automobilística começou a produzir carros movidos exclusivamente a álcool em 1978, atingindo seu ponto máximo em 1986 onde 96% dos novos veículos eram movidos à álcool (Unica, 2007). Em 1979, 66% dos veículos já utilizavam o álcool como combustível, enquanto que os veículos movidos à gasolina caíram de 89% para 20,9% (Carvalho e Corrija, 2007). O governo também tomou várias medidas para estimular a uso do etanol, como apontadas por Michellon, Santos e Rodrigues (2008):

- Tornou o uso de carro a álcool prioritário na frota oficial;
- Fixou em 20% a mistura de álcool a gasolina;
- Ampliou a revenda de álcool hidratado com preço estipulado em no máximo de 65% do preço da gasolina;
- Redução de alíquotas de Imposto sobre Produto Industrializado – IPI e Taxa Rodoviária Única (atual IPVA) para veículos movidos a álcool;
- Isenção de IPI para táxis a álcool; e
- Melhora nos preços dos produtos, com redução na paridade de 60 kg de açúcar por 44 litros de álcool, para 60 kg de açúcar por 38 litros de álcool, tornando mais compensador a produção de álcool.

Os preços do álcool destinado a fins carburantes eram propostos pelo CNP (Conselho Nacional do Petróleo) e fixados pelo CENAL (Comissão Executiva Nacional do Álcool) através do decreto nº83.700 de julho de 1979 (Unica, 2007). Para assegurar a lucratividade do setor, o governo lançou mão de três mecanismos:

- (i) fixação de preços remuneradores, baseado na paridade entre açúcar e etanol;

(ii) a concessão de empréstimos para investimentos em condições vantajosas, o governo financiou de 80% a 90% das novas unidades industriais a juros baixos (inferiores à inflação) e com três anos de carência e até 100% para o setor agrícola;

(iii) subsídio e garantia de mercado, por meio do decreto de obrigatoriedade da adição de 20% de etanol anidro à gasolina distribuída pela Petrobrás - que comprava o etanol e o revendia com prejuízo, já que o preço era regulado pelo governo e a produção do bioetanol era mais cara do que a gasolina (Ferreira, Guerra e Jannuzzi 1998; Scandiffio, 2005; Silva, 2013; Michellon, Santos e Rodrigues 2008).

Porém, a partir de 1985 os preços do petróleo começam a estabilizar e o mercado de açúcar volta a ascender, ao mesmo tempo em que a realidade econômica do país tornava-se crítica, trazendo vários problemas à manutenção dos incentivos do programa. O número de projetos e o montante dos investimentos sofrem uma redução abrupta, passando de 927 milhões de dólares entre 1980 e 1985 para 128 milhões entre 1986 e 1989 (Oliveira, 2004).

A partir de então o programa começa a perder força. A terceira fase, que vai de 1986 a 2003, é marcada pela desregulamentação do setor em 1990, liberando os preços do álcool à livre concorrência. Com o preço do açúcar reagindo no mercado internacional, e o menor incentivo do governo, os usineiros passaram a priorizar cada vez mais a produção de açúcar em detrimento ao álcool. As dificuldades financeiras e sucessivas crises de planos econômicos no final da década de noventa estimularam a criação de entidades que tinham o intuito de amenizar os problemas do setor sucroalcooleiro, como: a BA (Brasil Álcool) e BBA (Bolsa Brasileira de Álcool), que tinham como objetivo enxugar o excedente da produção de álcool do mercado e conseguir melhores preços para o produto.; e também a criação da UNICA (União da Agroindústria Canavieira de São Paulo) e Sucroálcool (Associação Paulista da Agroindústria Sucroalcooleira) (Michellon, Santos e Rodrigues, 2008).

Com as novas altas do petróleo a partir de 2000, o setor sucroalcooleiro e a indústria automobilística procuraram novas alternativas, que culminaram com o surgimento dos veículos *flex fuel* em 2003. A mistura compulsória de álcool à gasolina (entre 20 e 27%), que continua até hoje, a predominância cada vez maior dos veículos leves *flex fuel*, assim como a exportação cada vez maior de etanol e açúcar, garantem ao setor sucroalcooleiro a sua sobrevivência e atual crescimento (Michellon, Santos e

Rodrigues, 2008). Porém, para nossa análise a respeito do surgimento do programa focaremos nos dois primeiros períodos.

3.2.2 – Controvérsias e translações do Proálcool

Para entendermos às razões que levaram à criação do Proálcool, devemos levar em consideração não somente as altas nos preços do petróleo a partir de 1974, mas também as quedas no preço do açúcar no mercado internacional e a consequente crise que se instalava no setor sucroalcooleiro no mesmo ano.

Segundo Maya (1990), entre os anos de 1972 e 1974 foram destinados CR\$15 bilhões do Fundo Especial de Exportação no setor sucroalcooleiro - CR\$ 8 bilhões para a modernização das usinas, CR\$ 2 bilhões para a construção de terminais marítimos e CR\$ 5 bilhões para subsidiar o preço do açúcar destinado à exportação. Estima-se que foram investidos mais de US\$3 bilhões (em valores da época) na modernização e ampliação do setor sucroalcooleiro entre 1972 e 1975. Ainda, o preço do açúcar tivera uma alta extraordinária no mercado internacional nos anos anteriores, de 61% em 1972 e mais 30% em 1973, o que desencadeou ações de expansão da produção em todo o mundo (Castro Santos, 1993; Taurinho, 1987).

Porém, a situação começa a mudar quando os preços do açúcar começam a cair em dezembro de 1974 por conta da redução de seu consumo, entre diversos fatores, devido à substituição do açúcar por adoçantes artificiais e pela recessão causada pela própria crise do petróleo (Castro Santos, 1993). Os preços do açúcar no mercado internacional caíram mais de 70% entre dezembro de 1974 e dezembro de 1975 (Taurinho, 1987). Castro Santos (1993) aponta que havia uma ampla capacidade ociosa no parque destilador instalado e que no ano-safra de 1973-1974, o nível de ociosidade das destilarias brasileiras chegava a 38% e até 50% nas destilarias paulistas.

A maior parte dos autores que realizaram análises políticas sobre o Proálcool concordam que o programa não visava somente diminuir as importações de petróleo, mas tinha o duplo objetivo de salvar a indústria de açúcar que passava por uma crise (Bermann, 2001; Paixão, 2003; Oliveira, 2004; Scandiffio, 2005). Para Paixão (2003):

Não se deve creditar a criação do Proálcool somente à crise energética. Ainda que a restrição à importação do petróleo tenha tido um papel fundamental, a existência do Proálcool não pode ser plenamente compreendida sem que levemos em consideração o

tradicional poderio político detido pela classe dirigente do setor sucroalcooleiro (usineiros e fornecedores de cana) e o momento de ameaças pelo qual passava este setor produtivo no começo dos anos 1970 (Paixão, 2003, p. 3).

Segundo Scandiffio (2005), o surgimento do Proálcool não se deve exclusivamente à crise do petróleo. Com a queda brusca nos preços internacionais do açúcar no final de 1974, o programa serviu também para resgatar a indústria sucroalcooleira que teria sérios prejuízos se não fosse a criação do programa.

As dificuldades financeiras devido à importação de petróleo e a instabilidade do preço do açúcar no mercado internacional, alicerçadas à determinação governamental de buscar a autonomia energética, impulsionaram o lançamento do Programa Nacional de Álcool. Para o setor sucroalcooleiro o Proálcool representou uma válvula de escape para superar seus prejuízos com a exportação do açúcar; conseqüentemente, o setor apoiou as determinações governamentais na formulação do Proálcool (Scandiffio, 2005, p. 30-31).

Bermann (2001) também relata que os preços do açúcar refinado no mercado internacional haviam caído de US\$990 em 1973 para US\$300 a tonelada métrica em 1975 e o principal objetivo do programa foi desde o começo salvar a indústria do açúcar.

O programa já nasceu controverso, já que a ideia vendida pelo governo era a de que o projeto estava sendo criado para resolver os problemas gerados pela crise do petróleo. Porém, o motivo real foi o de salvar a indústria do açúcar que estava à beira da falência devido à queda dos preços do açúcar refinado no mercado externo (Bermann, 2001, p. 114).

Oliveira (2004) aponta que desde 1974, já antevendo a crise no mercado do açúcar - que era cíclica, os produtores de açúcar de São Paulo já vinham propondo ao governo a volta da mistura do etanol à gasolina. Porém, esse processo não foi linear e foi necessária a articulação de vários agentes públicos e privados.

Segundo Castro Santos (1993), apesar das quedas nos preços internacionais do açúcar no final de 1974 e início de 1975, o açúcar - que era juntamente com o café um dos principais produtos de exportação do Brasil - ainda era visto com otimismo pelo governo e pelos produtores. Governo e produtores acreditavam nessa época que a crise

era temporária e que a exportação de açúcar ainda deveria ser uma das principais metas da política agrária brasileira.

Tanto é que, segundo Castro Santos (1993), uma das principais preocupações do governo na fase de formulação do programa e no início de sua implementação era não afetar a produção e exportação do açúcar com o incentivo à produção de álcool. Isso inclusive trouxe à tona uma das principais disputas entre os atores do Proálcool, no caso, entre os produtores paulistas (representados pela Copersucar) e o Instituto do Açúcar e Álcool (IAA).

Enquanto a Copersucar defendia que a maior parte da produção de álcool deveria se dar por meio das destilarias anexas às usinas, aproveitando assim a capacidade ociosa dessas usinas e reduzindo custos com investimento em novas destilarias, produção e transporte de matéria-prima, o IAA defendia que a maior parte dos incentivos e financiamentos deveriam ser direcionados às destilarias autônomas, que seriam na sua maior parte ainda construídas, e queria limitar a proporção de matéria-prima própria que uma usina poderia processar. A preocupação do IAA era de que a produção de álcool desviasse matéria-prima da produção de açúcar, causando um aumento dos preços internos do açúcar e afetando a balança comercial, que já estava prejudicada com os preços do petróleo (Castro Santos, 1993).

Portanto, na fase de formulação do programa, que segundo Castro Santos (1993) vai de março de 1974, quando se iniciaram as discussões sobre a adição de álcool à gasolina, ao decreto do programa em novembro de 1975, o açúcar ainda era visto com otimismo por produtores, instituições governamentais (como o IAA, Ministério da Indústria e Comércio, Ministério de Minas e Energia, Ministério da Agricultura, Secretaria de Planejamento) e o próprio Geisel, sendo que uma de suas principais preocupações nessa fase era não afetar a produção e exportação de açúcar com a criação do programa. Porém, conforme o tempo foi passando e os preços do açúcar mantiveram-se em queda até 1979 (e depois em patamares muito abaixo da euforia de 1971-1972), as metas e objetivos do programa foram dando cada vez mais ênfase à produção de álcool e menos importância ao açúcar.

Assim, pode-se dizer que, se por um lado, as quedas no preço internacional do açúcar em 1974-1975 (que ainda não era visto como uma crise pelo setor) não justificavam a criação do programa (pelo contrário, a manutenção da produção de açúcar era uma de suas principais preocupações), por outro lado, a permanência dos preços reduzidos do açúcar no mercado internacional ao longo da década de 70 foi

determinante para a ampliação do programa e principalmente para os ousados objetivos de sua segunda fase, que visava não somente a ampliação da proporção de álcool anidro na mistura com a gasolina, mas também a criação de um mercado nacional de automóveis movidos exclusivamente a álcool (coisa inédita no mundo), assim como um respectivo mercado de álcool hidratado para esses veículos.

Portanto, ao analisarmos os problemas, devemos considerar conjuntamente tanto as dificuldades que a importação do petróleo em alta gerava ou poderia agravar - como falta de derivados do petróleo no mercado, déficit na balança comercial, evasão de divisas, desvalorização cambial, inflação, etc - quanto a ameaça de crise no setor sucroalcooleiro devido à queda nos preços internacionais do açúcar.

Ao considerarmos as possíveis soluções, a situação se torna mais clara. De acordo com Bennertz (2009), várias alternativas poderiam ter sido adotadas na época para reduzir a importação de petróleo como: ampliação dos transportes coletivos, implementação e melhoria da malha ferroviária, medidas de redução do uso de automóveis nos centros urbanos, promoção do transporte solidário, incentivo ao uso de bicicletas, etc. Porém, nenhuma dessas alternativas favorecia o setor sucroalcooleiro e a indústria automobilística.

No início da década de 1970 diversas montadoras se instalaram no Brasil e as vendas de automóveis aumentaram mais de 15 vezes em 1972 em relação a 1960 (Anfavea, 1994). O automóvel particular já havia se estabelecido como o meio de transporte por excelência nos centros urbanos do Brasil. Portanto, ficava difícil adotar uma solução que deixasse de fora tanto o setor açucareiro quanto a indústria automobilística. Segundo Oliveira, “fabricar veículos movidos a álcool era vital para que o setor automobilístico pudesse continuar expandindo sua produção e multiplicando seus lucros. Daí a adesão das montadoras ao Proálcool” (Oliveira, 2004, p. 47).

Além disso, havia alternativas para a produção de etanol, como a mandioca, o babaçu e outros vegetais do cerrado, que inclusive foram incluídas no projeto do programa e seu uso defendido por órgãos como a STI (Secretaria de Tecnologia Industrial) e o CTA (Centro Tecnológico Aeroespacial), mas nunca foram levadas a sério e implementadas pelo programa (Castro Santos, 1993). No caso da mandioca, o vegetal representava uma alternativa muito mais distributiva para a produção do etanol. Segundo Bermann (2001) e Castro Santos (1993), a mandioca poderia ser cultivada pelos pequenos produtores rurais de forma distribuída pelo Brasil, inclusive em regiões

áridas onde a cana não cresce, e ainda poderia fornecer carboidratos para a alimentação dessa população e suas ramas utilizadas para alimentar o gado.

Um estudo realizado pelo CONDEPE (Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco) apontara que apesar da cana-de-açúcar apresentar a maior eficiência para produção de etanol, a mandioca apresentava outras vantagens, como crescimento em áreas de baixa pluviosidade e em terras de menor qualidade. Além disso, a mandioca implicava menores investimentos que os da cana-de-açúcar (Condepe, 1992).

O uso da mandioca como matéria-prima para a produção de álcool poderia ter grande destaque, principalmente na realização de um dos objetivos do PROÁLCOOL que seria a redistribuição de renda. A mandioca fornecida para as usinas seria produzida por centenas de milhares de pequenos produtores, que assim contariam com um mercado de tamanho maior para ampliar sua produção e elevar sua renda. A renda estaria sendo melhor distribuída, o homem do campo poderia melhorar seu padrão de vida e isso funcionaria como um importante fator de fixação de mão-de-obra no campo e de redução das migrações para os centros urbanos, que vinha inchando desordenadamente (CONDEPE, 1992, p.6 apud Oliveira, 2004).

Outro estudo citado por Oliveira (2004) aponta que a cultura da mandioca apresentava maior potencial de produção de álcool por unidades de área e, ao contrário da cana, exige pouco quanto à qualidade da terra, permitindo a utilização de cerrado das regiões Sudeste e Centro-Oeste e dos tabuleiros do Nordeste, além de outros solos de qualidade inferior. A sua colheita poderia ser feita o ano inteiro permitindo que a usina opere continuamente. Além disso, a produção de mandioca não é influenciada pelas variações do mercado internacional, como acontece com a cana, que sofre as influências dos preços do açúcar (Bueno, 1980).

Em sua análise a respeito do desenvolvimento das tecnologias e uso do etanol no Brasil, Bennertz (2009) descreve a atuação de pesquisadores de universidades que contribuíram de maneira decisiva para a adição do etanol à gasolina e posteriormente o uso exclusivo do etanol como combustível automotivo. Segundo o autor, o principal responsável pelo desenvolvimento dos motores que utilizavam etanol foi o professor Urbano Stumpf da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O professor Urbano Stumpf já havia estudado em suas pesquisas anteriores a adição de álcool anidro à gasolina. Devido a essas pesquisas, Stumpf foi convidado em

1973 a trabalhar no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), especificamente no CTA (Centro Tecnológico Aeroespacial) onde tinha diversos instrumentos e recursos à sua disposição para dar continuidade à sua pesquisa.

Segundo o Bennertz (2009), a grande contribuição de Stumpf e sua equipe foi a associação entre a potência e a taxa de compressão no cilindro, solucionando o problema que o etanol tinha até então em relação à sua potência e consumo em motores tradicionais. Ao aumentar a taxa de compressão, podia-se usar o etanol obtendo-se a mesma potência (ou maior) e quase o mesmo consumo que a gasolina.

O então presidente Geisel fez visitas ao CTA entre junho e outubro de 1975 e segundo Castro Santos (1993) ficou muito impressionado com as alternativas que o responsável - professor Urbano Stumpf - apresentou, assim como este último se surpreendeu com a minuciosidade e atenção aos detalhes do presidente. Nessa ocasião Stumpf apresentou o projeto de um motor movido exclusivamente à álcool e falou das possibilidades do uso do álcool misturado à gasolina. Além disso, defendia o uso da mandioca para o aumento de produção de álcool no Brasil e enfatiza as suas vantagens com relação à cana.

Porém, segundo Castro Santos (1993), após algumas reuniões entre o presidente, os ministros da Indústria e Comércio (MIC), Minas e Energia (MME), Agricultura (MA), Casa Civil, Secretaria de Planejamentos (SEPLAN), o IAA e com alguns produtores entre setembro e novembro de 1975, ficou definido que a cana-de-açúcar seria a principal matéria-prima para a expansão da produção de álcool devido à infraestrutura e parque produtivo já instalado e a urgência da situação. Entretanto, nada impedia que as outras matérias-primas como a mandioca fossem incentivadas ao longo dos anos seguintes, o que nunca aconteceu.

Essa polêmica em relação à matéria-prima que seria incentivada pelo programa mostra que o álcool nessa rede agia como um actante, ou seja, um ator não-humano capaz de alterar o curso de ação do programa, porém, que não tinha uma figuração estabelecida. Podemos perceber que havia uma disputa pela sua representação, onde alguns pesquisadores, incluindo do CTA, defendiam o uso da mandioca para a sua produção e o poderoso setor sucroalcooleiro defendendo o uso da cana-de-açúcar. Evidentemente, por uma grande diferença de poder, o setor sucroalcooleiro - enquanto um forte mediador nessa rede - foi capaz de definir o papel do álcool e associá-lo a outro actante, a cana-de-açúcar.

A partir dessa controvérsia é possível enxergar os movimentos de translação envolvendo o setor sucroalcooleiro, os órgãos do governo e os pesquisadores do CTA. Apesar dos pesquisadores apontarem os diversos benefícios ambientais e sociais da mandioca para a produção de etanol, o interesse dos usineiros, assim como o imediatismo do governo, falaram mais alto e excluíram completamente a mandioca dessa rede, dando força a outro ator não-humano: a cana-de-açúcar. Como Latour (2000; 2012) menciona, os atores não-humanos nunca agem sozinhos e têm sempre um ou mais porta-vozes, que fazem o possível para controlá-los e representa-los. Ao defenderem a cana-de-açúcar como alternativa mais eficaz às necessidades do governo, os produtores de cana, açúcar e álcool foram capazes de traduzir os interesses do governo aos seus próprios interesses, tornando-se indispensáveis a essa rede e criando assim um ponto de passagem obrigatório.

Devido ao sucesso das pesquisas no CTA, a partir de 1974 a Secretaria de Tecnologia Industrial (STI) do Ministério de Indústria e Comércio (MIC) passou a apoiar o desenvolvimento de estudos, principalmente no CTA, sobre uso de produtos renováveis para geração de energia. Segundo Bennertz (2009), neste momento o governo brasileiro percebeu que era necessário estabelecer uma estrutura capaz de coordenar pesquisas e desenvolvimentos em todo o território nacional e para isso criaram o Programa Tecnológico do Etanol (PTE), que logo passou a ser chamado de Programa Tecnológico Industrial de Alternativas Energéticas de Origem Vegetal. Segundo Nitsch:

Parece ter sido muito importante que a principal contribuição tecnológica tenha sido dada pelo “Centro Técnico Aeroespacial – CTA”, da Força Aérea Brasileira, para que as relutantes montadoras multinacionais no Brasil pudessem ser mais facilmente induzidas a um acordo com o governo: as firmas concordaram em produzir carros a álcool e o governo prometeu fornecer o combustível e manter os preços competitivos perante a gasolina (Nitsch, 1991, p. 125).

A partir da análise de Bennertz (2009), fica claro o papel decisivo dos atores não-humanos associados à essa rede. Não fosse a compreensão pela equipe do professor Stumpf da relação entre a potência do álcool hidratado e a taxa de compressão dentro do pistão seria impossível que o álcool hidratado fizesse parte dessa rede, reduzindo o alcance do programa ao álcool misturado à gasolina (álcool anidro).

Ao inserir o álcool puro à rede formada pela Proálcool, a indústria sucroalcooleira teve a chance de produzir e vender muito mais etanol, assim como a indústria automobilística teve a oportunidade de vender uma frota nova de veículos que usavam exclusivamente álcool. Isso nos mostra como mesmo atores não-humanos como a cana, o álcool hidratado e os pistões foram importantes mediadores dessa rede, mudando completamente o curso de ação do programa e favorecendo translações interessantes aos setores automobilísticos e sucroalcooleiro.

Latour (2012) aponta, como já vimos em capítulo anterior, que os atores de uma rede sociotécnica possuem diferentes níveis de poder, sendo alguns capazes de alterar a forma e funcionamento dessa rede. A indústria sucroalcooleira pode ser vista, nessa análise, como um forte mediador dentro dessa rede, capaz de alterar a forma como o programa foi pensado originalmente e dirigir os recursos e estímulos governamentais todos para si, tirando a mandioca da formação final da rede.

Aqui também houve um claro exemplo de tradução (ou translação). Enquanto originalmente o programa governamental foi pensado para aliviar o peso do petróleo na matriz energética brasileira, colocando o etanol como uma alternativa à gasolina para o uso de automóveis leves, independente da sua fonte, o setor sucroalcooleiro aproveitou essa oportunidade para converter os interesses do governo em seus próprios interesses. Se por um lado os interesses desse setor estavam de acordo com os do governo na época, por outro lado, eram contrários aos interesses de outros setores como dos pequenos produtores da mandioca, o que resultou em uma disputa vencida pela indústria do açúcar para concentrar em si os investimentos governamentais.

Quanto ao contexto político - apesar do período em que passávamos de ausência de democracia e de eleições para presidente, sem grandes alterações nesse período - este teve uma importância significativa. A começar pela entrada do presidente Geisel que, como vimos, teve um grande envolvimento na formulação do programa. Em segundo lugar, temos a continuidade de uma política econômica fortemente intervencionista que vinha desde a década passada (Mantega, 1997), e o anúncio do II Plano de Desenvolvimento Econômico, que deu grande ênfase à reestruturação da economia e à política energética do país¹. Não fossem esses fatores, dificilmente seria possível criar um programa tão amplo e custoso.

¹ - No que se refere à política energética, o II Plano de Desenvolvimento Econômico foi responsável, além da criação do Proálcool, também pela expansão da exploração de petróleo no território nacional, especialmente na bacia de Santos, a construção da usina de Itaipu em parceria com o Paraguai, o acordo

Em sua análise a respeito da estrutura de poder em torno do ProÁlcool, Castro Santos (1993) traz diversas informações a respeito dos atores envolvidos na formulação do programa, das questões envolvidas e do andamento das discussões. Segundo a autora, os principais atores públicos envolvidos na formulação do programa foram os ministros da Indústria e Comércio (MIC), Minas e Energia (MME), Agricultura (MA), Casa Civil, Secretaria de Planejamentos (SEPLAN), o Instituto do Açúcar e Alcool (IAA), Petrobrás, Conselho Nacional do Petróleo (CNP), Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) e o próprio presidente Geisel.

Diversas questões foram levantadas e discutidas por esses atores entre março de 1974 e novembro de 1975, sendo que as principais questões foram:

- a matéria-prima que seria utilizada (cana ou mandioca).
- forma que seria produzido (usinas anexas ou autônomas)
- preço pago aos produtores pelo álcool em relação ao açúcar
- definição das fontes de recursos do programa
- proporção da mistura de álcool na gasolina.

Já exploramos aqui a questão da matéria-prima (cana x mandioca). Outra grande questão que foi muito debatida e disputada se refere à forma que seria produzido o álcool, em destilarias anexas ou autônomas que se deu principalmente entre os produtores paulistas e o IAA, que também já tratamos aqui.

O preço que seria pago aos produtores pelo álcool foi inicialmente proposto pelo IAA em equivalência de 44 litros de álcool por cada saco de 60kg de açúcar cristal “standard”. Porém, em agosto de 1975 o MIC propõe a equivalência de 46 litros por cada 60 kg de açúcar, o que favorecia os produtores de álcool e foi adotado no decreto final do programa (Castro Santos, 1993).

Quanto à definição da fonte de recursos do programa ficou definido em reuniões entre o presidente e os ministros citados que os recursos viriam da diferença entre o preço de venda do álcool (estabelecido pelo o controle pelo Conselho Nacional do Petróleo) e o preço pago os produtores. Além disso, ficou a cargo do Conselho Monetário Nacional e do Banco do Brasil o controle dos financiamentos do programa, o

de cooperação de gás com a Bolívia e o acordo com a Alemanha para a construção de uma nova usina nuclear.

que enfraqueceu o IAA, que antes julgava os pedidos de financiamento e agora ficaria somente responsável de encaminhar os pedidos (Castro Santos, 1993).

A proporção da mistura de álcool na gasolina sempre foi uma das principais demandas da indústria automobilística, que pedia que independente da proporção estabelecida, essa fosse homogênea em todo o território, para facilitar a adaptação dos motores. Porém, essa proporção nunca foi fixada, sendo determinadas por portarias do CNP para cada região e em cada período, variando de acordo com a produção, e atingindo 20% do território nacional de forma homogênea somente em 1983 (Castro Santos, 1993).

No dia 8 de novembro de 1975 em reunião realizada no sítio do presidente Geisel, envolvendo o MIC, MME, MA, MI, Fazenda e SEPLAN, é determinado a criação da Comissão Nacional do Álcool (CNA), composta pelos ministros da Fazenda, MA, MME, MI, SEPLAN e presidida pelo MIC, e que ficaria responsável de coordenar o programa e estabelecer as questões em aberto. Segundo Castro Santos (1993), isso cria uma estrutura de decisão altamente fragmentada, sem um centro de decisão e que confunde até mesmo os produtores, que ficam desorientados até mesmo sobre a quem encaminhar suas demandas.

No dia 14 de novembro de 1975 é publicado o decreto nº 76.593 que inaugura o programa. Porém, com exceção da definição do preço pago aos produtores, a maior parte das questões envolvidas em toda a fase de formulação do programa, como a matéria-prima que seria utilizada, a proporção da mistura, a forma de produção (destilaria anexa ou autônoma), não são estabelecidas nesse decreto, acomodando praticamente todas as alternativas e deixando praticamente tudo em aberto nesse momento (Castro Santos, 1993). Segundo a autora, o decreto representa apenas uma pausa neste momento nas disputas entre os atores públicos e privados envolvidos no programa, que continuaram se desenvolvendo ao longo da sua implementação e ainda trariam grandes mudanças.

Isso nos leva a crer que ao mesmo tempo em que o Proálcool fazia parte de uma rede mais ampla, que envolvia políticas de expansão energética e desenvolvimentistas, não havia um centro de poder bem definido, o que o tornava uma caixa-preta aberta naquele momento. Para Latour (2012), todo ator-rede é formado por diversas alianças e representações que são objeto de disputa por vários atores. No caso do Proálcool, essas disputas eram tantas que o programa foi lançado sem resolvê-las, deixando o caminho aberto para as translações.

Conforme o tempo foi passando, o setor sucroalcooleiro e a indústria automobilística foram ganhando cada vez mais força, especialmente em sua segunda fase, o que resultou no fechamento dessas disputas e questões. Porém, essas associações não poderiam durar indefinidamente. Na medida em que a crise do petróleo foi se amenizando e os preços do açúcar no mercado internacional se recuperando, a produção de álcool foi se tornando cada vez menos rentável, e cada vez mais dispendioso para o Estado.

Um estudo realizado por um grupo de economistas e cientistas sociais da Universidade Livre de Berlim (Nitsch, 1991), traz apontamentos interessantes sobre a rentabilidade do Proálcool. Segundo este estudo, somente se o barril do petróleo superasse os US\$52,00 o etanol anidro (misturado à gasolina) poderia ser considerado competitivo e US\$62,00 para o álcool hidratado (utilizado nos motores exclusivamente a álcool).

Além disso, esses números só valeriam para preços do açúcar no mercado internacional muito baixos. Acima de US\$0,08 por libra já seria mais atraente para os produtores exportarem açúcar, o que necessitaria de muitos subsídios para sustentar o programa (Nitsch, 1991, p. 126).

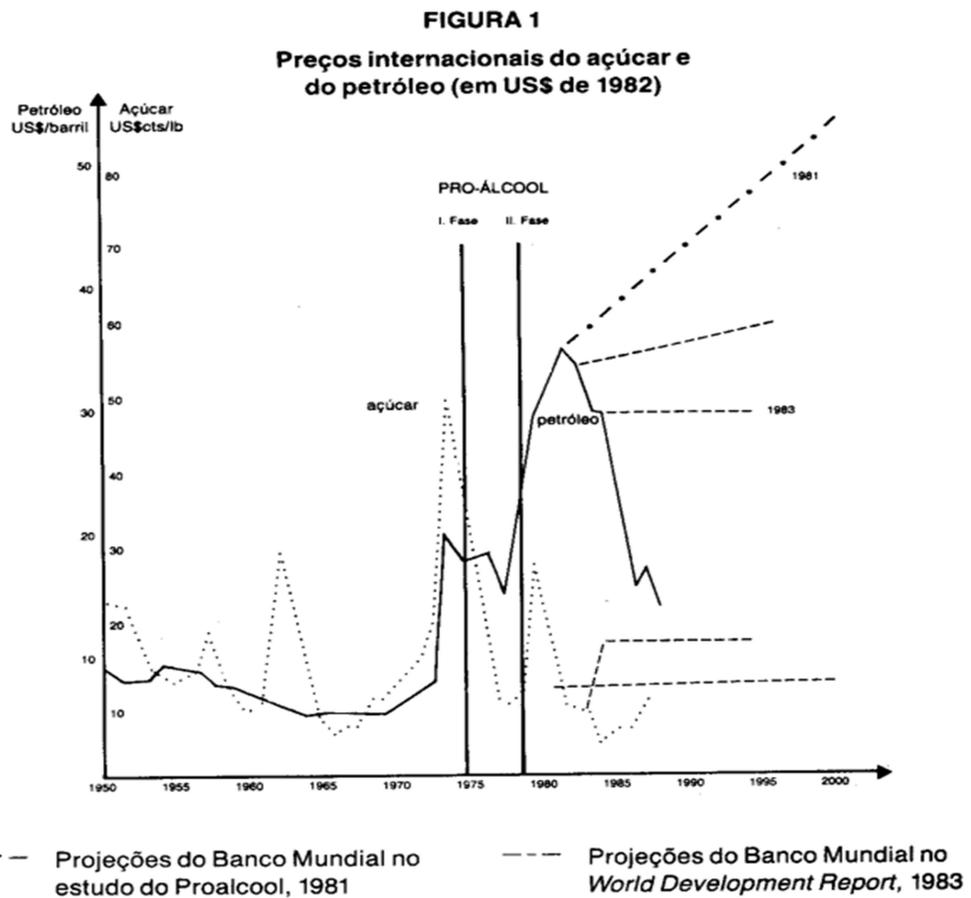
Ainda, segundo Melo e Fonseca (1981), o custo de produção do álcool em 1981 era substancialmente maior que o custo de importação do petróleo mais o seu refino, ficando entre US\$40 e US\$50 para o álcool, contra US\$16-18 da gasolina. Essa análise nos leva a crer que o programa não seria mais viável a não ser que o barril do petróleo aumentasse muito mais que o esperado e o preço do açúcar continuasse caindo a níveis nunca vistos antes.

Em 1981 o Banco Mundial concedeu um empréstimo de US\$250 milhões ao Brasil para ser investido no Proálcool. Esse empréstimo foi concedido com base em análises que projetavam preços continuamente ascendentes ao barril do petróleo e estáveis para o açúcar.

Porém, em outro estudo adotado pelo Banco Mundial em 1983 já se previa que o barril do petróleo estabilizaria em torno dos US\$30,00 (ver gráfico 3.1). Tanto é que um novo pedido para o programa de US\$350 milhões em 1984 foi recusado pelo mesmo Banco Mundial, devido às críticas com relação à sua viabilidade econômica. Segundo o estudo:

Nota-se que o preço do açúcar em janeiro de 1990 foi de 14 centavos de dólar por libra, o que daria ao Brasil uma renda confortável, de modo que o preço correspondente do petróleo que houvesse tornado o álcool mais lucrativo do que o açúcar alcançaria bem mais que o astronômico valor de US\$100/barril (Nitsch, 1991, p. 135).

Gráfico 3.1 – Preços internacionais do açúcar e do petróleo (em US\$ de 1982)



Extraído de: Nitsch, 1991, p.125.

A queda e estabilização do preço do barril de petróleo nos anos 80 assim como a recuperação do açúcar no mercado internacional tornaram o programa cada vez menos interessante para os produtores de açúcar e álcool e cada vez mais dispendioso para o governo, o que levou ao seu gradativo abandono em meados dos anos 80 e à

desregulamentação do setor e liberalização do preço do álcool combustível ao livre mercado em 1990.

3.2.3 - Considerações finais a respeito do ProÁlcool

Em nossa análise da criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) pudemos entender melhor as condições que possibilitaram o programa, a rede que se formou e deu sustentação ao programa, assim como a importância e a atuação de cada ator dentro dessa rede.

Segundo a TAR (Latour, 2012; Law 2003; Callon 2008), as redes são formas de se agir à distância, através de canais por onde circulam as ações e convergem interesses por meio das translações. Callon (1998) introduz a noção de convergência quando trata da formação de mercados, segundo a qual, diferentes interesses, políticas e programas governamentais convergem para formar uma determinada forma de organizar a atividade econômica que acabam por se impor, tornando-se um ponto de passagem obrigatório.

Com o auxílio da teoria ator-rede, pudemos entender como a alta do petróleo, juntamente com a queda nos preços do açúcar e o contexto político da época - que se encontrava em um período de relativa estabilidade, com um histórico intervencionista e receptivo a políticas desenvolvimentistas – possibilitaram a associação de diversos atores importantes em uma poderosa rede sócio-técnica: os principais órgãos e ministérios do governo, a indústria sucroalcooleira, a indústria automobilística, a comunidade de pesquisa e também atores não-humanos (actantes) decisivos como a cana-de-açúcar e os motores desenvolvidos para o uso exclusivo de álcool.

Essas associações não se formaram por acaso, mas sim como resultado de translações que fizeram convergir tanto o interesse do governo de evitar grandes importações de petróleo e gasolina como o interesse do setor sucroalcooleiro em aumentar sua produção, que se encontrava em grande parte ociosa naquele momento, e de garantir sua sobrevivência num período de crise que podia se estender e representava sério risco ao setor. Possivelmente, não fosse a crise no setor açucareiro, dificilmente o governo adotaria o etanol como solução para a crise do petróleo, já que a venda de açúcar no mercado internacional seria muito mais lucrativa e interessante para o setor sucroalcooleiro.

Essa política não se consolidou longe de disputas e controvérsias, como a matéria-prima que seria utilizada, o formato de produção das usinas, o preço que seria pago aos produtores, a proporção da mistura de álcool na gasolina, a disputa entre os usineiros e o IAA, a viabilidade do programa, entre outras questões. A exclusão de atores-rede, como a mandioca e seus possíveis pequenos produtores, impedidos de fazer parte da rede final do programa também foram movimentos fundamentais desses processos de translação.

Podemos dizer que, por um lado, o programa foi um grande sucesso, poupando uma enorme quantidade de importação de petróleo ao Brasil em uma época em que isso gerou graves crises econômicas em grande parte do mundo e incentivando a produção de álcool de cana-de-açúcar e o desenvolvimento de motores exclusivos de forma pioneira no mundo, o que gera resultados até hoje como os veículos flex. Por outro lado, o programa não se deu longe de controvérsias, o que torna importante a reflexão sobre os seus benefícios no período de sua vigência e dos investimentos públicos em cana-de-açúcar e etanol ainda hoje.

A partir desse retrospecto, pudemos acompanhar o histórico e a consolidação do setor sucroenergético brasileiro, assim como a criação e atuação de alguns atores do setor que seriam fundamentais posteriormente para a rede do etanol celulósico, como os produtores paulistas, a Copersucar e o CTC. A análise mostra que esses atores há muito tempo já disputavam e influenciava programas de governo e a política energética nacional. Também fica mais fácil compreender o poder e a independência do setor sucroalcooleiro atualmente, inclusive o seu pioneirismo tecnológico, quando acompanhamos esses movimentos de translação.

Muitas são as questões sociais e ambientais envolvidas com a produção de cana-de-açúcar atualmente e a compreensão das origens do seu grande crescimento é essencial para a criação de políticas públicas alinhadas com compromissos sociais e ambientalmente responsáveis.

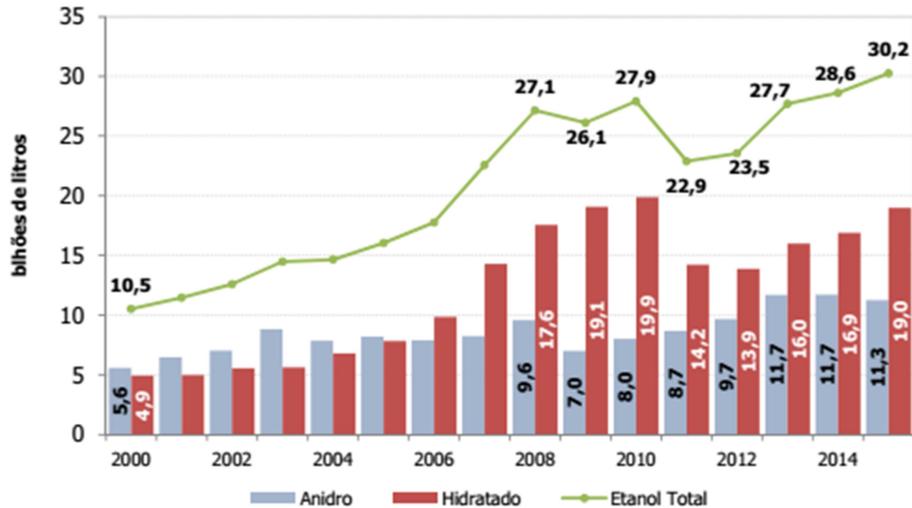
A seguir, abordaremos a situação atual do setor sucroenergético e discutiremos, com base em nossa pesquisa bibliográfica, como o formato de distribuição do etanol em voga contribui com a concentração da produção. Ao final, esperamos poder apontar como as tecnologias de segunda geração (E2G e bioeletricidade) podem interferir nessa lógica.

3.3 – A situação atual do setor sucroenergético

Em 2015, o Brasil produziu 30 bilhões de litros de etanol a partir de 660 milhões de toneladas de cana-de-açúcar que foram processadas naquele ano, sendo que 40% desse total foi utilizado na produção de açúcar e o restante para o etanol anidro e hidratado (respectivamente 23% e 37%) (EPE, 2016).

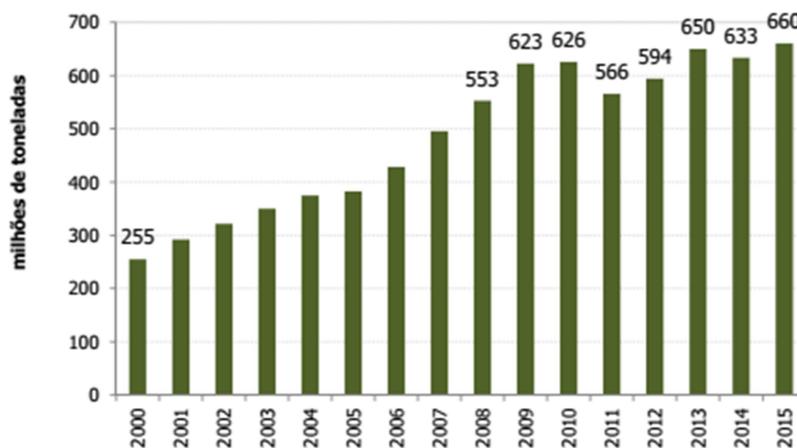
Porém, desde o auge que se obteve em 2010, a produção de açúcar e etanol nunca mais superou esse patamar, regredindo bastante em 2011 e esforçando-se para se recuperar. As previsões da EPE também foram ficando cada vez menos otimistas, ano após ano.

Gráfico 3.2 - Produção de etanol no Brasil entre 2000 e 2015



Fonte: EPE, 2016

Gráfico 3.3 - Histórico anual de processamento de cana-de-açúcar no Brasil

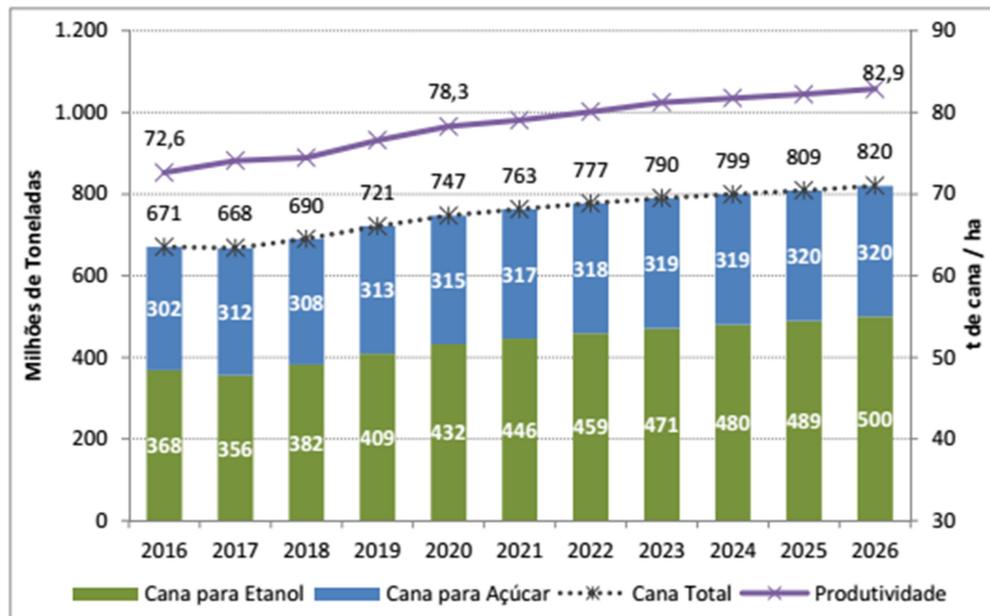


Fonte: EPE, 2016.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 previa que a produção de cana-de-açúcar devia aumentar de 635 milhões de toneladas em 2014 para 841 milhões em 2024, sendo que a proporção voltada para a produção de etanol também deveria aumentar, indo de 56% do total em 2014 para cerca de 60% em 2024 (e o restante para a produção de açúcar). Essa previsão, porém, é mais tímida que a do plano anterior, que estimava a produção de 897 milhões de toneladas já em 2023 (EPE, 2014; 2015).

A produção de etanol deveria acompanhar esse crescimento, estando previsto no seu total (hidratado e anidro) 44 bilhões de litros em 2024, o que também é uma estimativa mais modesta em relação ao PDE 2023, que previa a produção de 48 bilhões de litros em 2023 (EPE, 2014; 2015). Porém, o PDE 2026 (EPE, 2017b) traz previsões ainda mais modestas apontando 790 milhões de toneladas para 2023 (197 milhões a menos do que previa o PDE 2023) e somente 820 milhões em 2026, o que reflete uma clara estagnação da produção do setor (ver gráfico 3.4). Uma análise mais recente da EPE prevê que a oferta de etanol chegará a cerca de 35 bilhões de litros em 2025 e somente 38 bilhões em 2030, apenas 7 bilhões de litros acima do valor registrado em 2015 e 10 bilhões de litros a menos do que previa o PDE 2023 (EPE, 2017a).

Gráfico 3.4 – Cana colhida e destinação (projeção)



Fonte: EPE, 2017b (PDE 2026)

E ainda, segundo uma análise recente da Empresa de Pesquisa Energética, essa estagnação na produção sucroenergética pode se estender até 2030 se não acontecer nenhuma mudança na política de combustíveis atual e incentivos à indústria sucroalcooleira, o que pode causar uma crise de abastecimento já em 2020² (EPE, 2017).

Vários fatores contribuíram para essa situação. Além dos fatores ambientais adversos nesse período - chuvas excessivas em 2009 e secas prolongadas em 2010 e 2011 - muitas análises atribuem essa estagnação principalmente à crise de 2008, que desacelerou de forma geral a economia mundial desde então (ANP, 2011; EPE, 2017), e à política de combustíveis e de inflação do primeiro governo Dilma, que segurou o preço da gasolina através da Petrobras abaixo do preço de mercado entre começo de 2011 e final de 2014 para controlar a inflação³, o que causou grande prejuízo ao setor sucroenergético, já que o etanol perdeu assim competitividade frente à gasolina.

² - O Globo, **EPE prevê alta de 160% na demanda por etanol até 2020**. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/politica/epe-preve-alta-de-160-na-demanda-por-etanol-ate-2020-2760786>, acesso em: 25/05/2017.

³ - Estadão, “O tamanho da crise do etanol”. Disponível em: <http://opinio.estadao.com.br/noticias/geral,o-tamanho-da-crise-do-etanol-imp-1582369>, acesso em: 25/05/2017.

A maior parte das organizações que representam o setor sucroalcooleiro também atribui o prolongamento desse quadro à falta de investimentos e garantias ao setor por parte do governo^{4,5,6}. Por consequência disso tudo, desde 2011 o setor sucoenergético acumulou dívidas que têm crescido exponencialmente⁷, o que contribuiu com a queda de produtividade, já que, além do fechamento e recuperação judicial de muitas usinas, muitas vezes o produtor precisa escolher entre investir na produção e pagar as dívidas⁸ (EPE, 2016).

Ainda podemos citar outros fatores que contribuíram com o cenário, como os preços do açúcar no mercado internacional que ficaram mais atrativos nesse período e a valorização do dólar, que encareceu a dívida (principalmente externa) do setor (EPE,2016, 2017).

Em decorrência desse quadro, muitas usinas fecharam e o setor encontra-se atualmente bastante endividado. Uma estimativa do banco Itaú aponta que a dívida do setor era de R\$84 bilhões em março de 2017, o que representa um pequeno recuo ante os R\$94 bilhões em 2016⁹. Além disso, 83 usinas no Brasil fecharam entre 2008 e 2014. Em 2016, 86 usinas encontravam-se em recuperação judicial e corriam um sério risco de falir¹⁰.

As usinas também estão tendo dificuldades para cumprir os regulamentos de estoque definidos pela ANP e mais de 50 corriam o risco de serem multadas ou fechadas devido a esse descumprimento¹¹ em 2017. Além disso, em maio de 2017 336

⁴ - RPAnews ed. 182, “Quando o setor voltará a fazer investimentos?” Disponível em: <<http://revistarpanews.com.br/index.php/publi/item/430-forum>>, acesso em: 19/05/2017.

⁵ - Fecombustíveis, “Usineiros cobram políticas claras do governo”. Disponível em: <<http://www.fecombustiveis.org.br/clipping/usineiros-cobram-politicas-claras-do-governo/>>, acesso em: 19/05/2017.

⁶ - NovaCana, “Falta de consenso entre as usinas e de diálogo com o governo ajudou a agravar a crise”. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/politica/falta-consenso-usinas-dialogo-governo-agravar-111214>>, acesso em: 19/05/2017.

⁷ - NovaCana, “Endividamento do setor de cana atinge R\$ 86 bi em fevereiro”. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/financeiro/endividamento-setor-cana-r-86-bilhoes-fevereiro-queda-anual-5-95-220317>, acesso em: 25/05/2017.

⁸ - NovaCana, “Maioria das usinas brasileiras de cana ainda enfrenta dificuldades financeiras”. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/financeiro/majoria-usinas-brasileiras-cana-enfrentam-dificuldades-financeiras-240417>, acesso em: 25/05/2017.

⁹ - NovaCana, “Dívida das usinas de açúcar e álcool cai, mas setor cobra programa RenovaBio”, 07/07/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/financeiro/divida-industrias-de-acucar-e-alcool-cai-usinas-renovabio-070717/>, acesso em: 13/07/2017.

¹⁰ - NovaCana, “O destino está praticamente selado para as 85 usinas em recuperação judicial no Brasil”, 28/01/2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/usinas/destino-selado-85-usinas-recuperacao-judicial-brasil-280116/>, acesso em: 13/07/2017.

¹¹ NovaCana, “Mais de 50 usinas não cumpriram metas de estoque em março e devem ser penalizadas”, 06/06/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/abastecimento/50-usinas-nao-metas-estoque-marco-penalizadas-060617>, acesso em: 13/07/2017.

usinas ainda não possuíam autorização da ANP para continuar suas operações após 31 de agosto de 2017 devido à ausência da documentação necessária, o que representa 87% das usinas, que corriam o risco de serem fechadas¹².

Desde 2013 o governo tem tomado algumas providencias para tentar melhorar esse quadro, como o aumento da mistura compulsória de álcool à gasolina de 20% para 25% em março de 2013 e posteriormente 27% em março de 2015; manutenção de alíquota zero do PIS e da COFINS sobre o etanol; além de elevação de atributos sobre a gasolina (EPE, 2017).

A política de maior incentivo ao uso do etanol no Brasil provavelmente ainda se refere à obrigatoriedade de adição de álcool anidro à gasolina. Iniciada em 1931 no governo de Getúlio Vargas em 5% e posteriormente ampliada para 20% durante o Proálcool, a adição de álcool à gasolina variou desde os anos 70 de 20% a 27%.

É atribuído ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a regulação desse percentual e condicionado à aprovação do Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA), formado pelo MAPA (que o preside), Ministério da Fazenda, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e o Ministério de Minas e Energia, por meio do decreto nº 3.966 de 10/10/2001.

Atualmente, não existe nenhum subsídio à produção e uso de etanol ou ainda fixação mínima para o seu preço, sendo esse mercado desregulamentado desde 1990. Porém, através da determinação de adição de etanol anidro à gasolina, o setor sucroalcooleiro tem um mercado garantido. Essa determinação garantiu ao setor sucroalcooleiro uma demanda que foi de quase 12 bilhões de litros de etanol anidro em 2013, o que corresponde a pouco mais de 40% do total de etanol produzido naquele ano (EPE, 2014b).

Esse quadro nos dá uma ideia das dificuldades que o setor passa atualmente, com a sua produção praticamente estagnada desde 2010, com um dívida crescente e várias usinas paralisadas e ou declarando falência, além das previsões a longo prazo cada vez mais tímidas para a produção de etanol. Esse quadro dificulta muito ou praticamente inviabiliza novos investimentos da maior parte das usinas, especialmente em expansão da capacidade ou ainda investimentos de risco como são as tecnologias

¹² - NovaCana, “Sem autorização definitiva para produção de etanol, 336 usinas podem ser interditadas pela ANP”, 25/05/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/regulacao/autorizacao-definitiva-etanol-336-usinas-interditadas-anp-250517/>, acesso em: 13/07/2017.

nascentes de segunda geração. Isso traz ainda mais peso às questões que abordaremos a seguir, como a concentração atual do setor na região centro-sul e a necessidade de uma reestruturação mais distributiva do setor.

3.4 – Sistema de distribuição do etanol e concentração do setor

Desde a década de 40 e especialmente após o sucesso do Proálcool nos anos 70, a região centro-sul concentra a maior parte da produção de cana-de-açúcar e de etanol no Brasil. Segundos dados do CONAB (2015), do total de 658 milhões de toneladas de cana-de-açúcar produzidas em 2014 no Brasil, 575 milhões (ou 87% do total) foram da região centro-sul. Quanto à produção de etanol, a região centro-sul concentrou 92,5% do total de quase 28 bilhões de litros produzidos em 2014, sendo São Paulo responsável por 50% do total. A situação da concentração da produção parece ainda mais grave quando olhamos para o número de usinas que produzem o etanol. São pouco mais de 360 grandes usinas, das quais 294 estavam instaladas na região centro-sul em 2007, sendo 177 só em São Paulo (CONAB, 2015).

Essa situação em parte se explica pela forma extremamente centralizada em que o etanol é distribuído. Do total de 170 distribuidoras oficiais no país, apenas oito dominam mais da metade do mercado. São elas: BR, Ipiranga, Shell, Texaco, Ask, Esso, Petronova e Oit Petro. Apesar de haver mais de 35 mil postos de combustível espalhados pelo Brasil, todo o etanol produzido precisa ir da usina para as distribuidoras para depois ser distribuído para os postos, fazendo um caminho longo, caro e desnecessário segundo Safatle (2011), que prejudica a logística e impede que pequenos produtores possam ingressar nessa estrutura.

E o número de distribuidoras que participam da distribuição de etanol vem caindo. Segundo relatório da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2014), em 2013 esse número caiu para 155, e somente três delas (BR, Ipiranga e Raízen) concentravam 57,7% da distribuição, com respectivamente 20,5%, 18,7% e 18,5% da participação.

Essa lógica favorece completamente a concentração e centralização do etanol. Como o frete é caro, as poucas distribuidoras preferem comprar direto com os grandes produtores, o que exclui completamente a possibilidade do pequeno produtor participar do mercado. Segundo Safatle (2011), não interessa à Petrobras e às outras distribuidoras de petróleo adquirir etanol de pequenos produtores, que produzem de 200 a 10 mil

litros/dia. Elas fecham contratos de compra em grandes quantidades de etanol que são produzidas pelas grandes usinas.

Ao mesmo tempo, regiões distantes dos produtores e dos distribuidores sofrem com a falta do produto e o preço desfavorável em relação à gasolina devido aos altos custos de frete proporcionados por esse modelo, o que torna praticamente inviável o uso do etanol em grande parte do território nacional. Segundo relatório do BNDES, A situação mais desfavorável ocorre na Região Norte, onde quase não há produção de cana-de-açúcar. Com exceção de Tocantins e Rondônia (próximos de Goiás e de Mato Grosso, respectivamente), nenhum outro estado da região fica perto de um grande centro produtor. Essa situação reflete-se na paridade desfavorável entre o preço do etanol e o da gasolina em quase toda a região (Milanez, Niko, Garcia et al, 2010, p. 52).

Os grandes produtores acumulam ainda mais capital individualmente aumentando sua escala de produção, configurando-se assim o processo de concentração de capital. Ao lado desse processo de concentração ocorre, de forma simultânea, a centralização do capital, com fusões e incorporações de capitais existentes (Safatle, 2011, p. 140).

Essa logística tem sua origem no decreto nº82.476 de 1978 que estabeleceu que todo o etanol produzido deveria ser encaminhado às distribuidoras de petróleo para dali ser distribuído aos postos. Apesar do decreto já ter sido revogado, sendo suas atribuições transferidas para a ANP pela lei nº 9.847 de 1999, a ANP deu continuidade a essa logística, reforçando o que foi estabelecido no antigo decreto da época do Proálcool.

Sendo assim, podemos dizer que as poucas grandes usinas de etanol configuram uma rede com os poucos distribuidores, da qual é quase impossível novos atores como os pequenos produtores ingressarem devido às regras de distribuição e a necessidade de se produzir em grande escala.

Segundo o estudo realizado por Safatle (2011), é possível dobrar a produção de etanol através da democratização de micro usinas se fosse alterada a lógica de distribuição por meio da lei que obriga as usinas a venderem seu etanol exclusivamente para as distribuidoras, proibindo a venda diretamente aos postos.

Existe no Brasil o equivalente a 553 milhões de hectares de terras agricultáveis, dos quais 235 milhões (42%) são cultivadas atualmente e somente cerca de 8 milhões são destinados ao cultivo da cana (CONAB, 2009). Segundo estudo do BNDES (2003), o Brasil produz em média 74 toneladas de cana por hectare. Considerando apenas 70

toneladas por hectare, visto que a produtividade é menor em algumas regiões do nordeste, uma pequena propriedade de 5 hectares poderia produzir 350 toneladas de cana por ano.

Considerando a média de produtividade de etanol no Brasil, que é de 60 litros por toneladas de cana, essa pequena propriedade poderia produzir cerca de 21 mil litros de etanol por ano. Admitindo um preço médio de R\$1,00 por litro de etanol, essa pequena propriedade poderia ter um rendimento bruto de R\$21.000,00 por ano, o que significa um faturamento de R\$1.750,00 por mês, superior ao que essa mesma propriedade poderia adquirir através do cultivo de soja, por exemplo (que somaria apenas R\$9.000,00 por ano considerando a produtividade média de 60 sacas por hectare/ano e o preço médio de revenda de R\$30,00 por saca) (Safatle, 2011).

Safatle (2011) traz ainda os cálculos de custos para a instalação dessas micro destilarias. Considerando que o custo para implantação de uma destilaria, em valores atualizados, é em média R\$360,00 por tonelada de cana (EPE, 2016), uma micro destilaria como a citada acima sairia por volta de R\$126.000,00. Montante que não é tão dispendioso para o pequeno produtor e poderia ser financiado através, por exemplo, do BNDES ou dos Fundos Constitucionais, com juros de 3% a 8% anuais.

Se fossem implantadas 1 milhão dessas micro destilarias, considerando uma média de 5 hectares por propriedade e a média de produção de 70 toneladas de cana por hectare, seria possível produzir 350 milhões de toneladas de cana ($1.000.000 \times 5 \times 70 = 350.000.000$). Multiplicado pela produtividade média de etanol, que é de 60 litros por tonelada, poderia se produzir cerca de 21 bilhões de litros de etanol, o que é o suficiente para quase dobrar a produção atual de etanol com 5 milhões de hectares de terras (cerca de 1% do total disponível) e um investimento total de R\$ 126 bilhões. Segundo o autor:

Os efeitos e impactos que produziram na economia brasileira a democratização do programa do etanol seria extremamente benéficos: implantação de 1 milhão de micro destilarias irradiando dinamismo às economias locais, regionais, e impulsionando outros setores, especialmente a indústria metal mecânica, a de insumos e implementos agrícolas. Com a produção de milhares de micro destilarias, irrigando a economia como um todo e a massa salarial gerada por um contingente de mais de milhões de empregos, somente na parte agrícola, os efeitos multiplicadores seria extraordinariamente grandes na ampliação do mercado interno (Safatle, 2011, p. 186).

O autor, porém, ressalta que isso só seria possível se fosse alterada a lógica de distribuição, que atualmente obriga os produtores a venderem seu etanol exclusivamente para as distribuidoras e favorece as grandes produtoras, como já discutimos acima. Para baratear o frete e favorecer a compra e distribuição mais racional, seria necessário que os produtores pudessem vender diretamente para os postos de combustíveis. É claro que aí tocamos numa questão delicada, que se refere ao recolhimento dos tributos, muitíssimo facilitado pelo sistema atual que centraliza o recolhimento nas poucas distribuidoras existentes e que se complicaria nesse cenário. Porém, o autor ressalta que isso não é impossível e poderia ser recolhido pelo próprios postos, de maneira semelhante com o que já é feito no caso do leite, cuja distribuição não é centralizada, e sim, feita de forma direta. Nas palavras do autor:

A grande interrogação que se faz é por que milhões de pequenos e médios produtores rurais estão alijados do processo produtivo do etanol e não participam dessa cadeia virtuosa da agroenergia? Pela lei em vigor, o etanol combustível, que é produzido nas 360 usinas só pode ser comercializado para as cerca de 100 distribuidoras autorizadas pela ANP, que por sua vez, depois de dar um longo passeio, chegam aos 30 mil postos de combustíveis espalhados pelo país. As distribuidoras de petróleo não vão adquirir etanol de pequenos e médios produtores, produzindo em pequena escala e pulverizados no território nacional, o que aumentaria em muito os custos de frete. Sem escala de produção, os pequenos e médios produtores rurais foram alijados do processo produtivo, ficando à margem do mais lucrativo negócio da agroindústria no país (Safatle, 2011, p. 176).

Além disso, recolher os impostos através das distribuidoras não é garantia de recolhimento, como foi deflagrado em 2017 na operação Rosa dos Ventos, onde os vários produtores abriam distribuidoras de fachada em nome de laranjas para emitir nota sem recolher os impostos, o que suficiente para desviar mais de **RS\$3 bilhões** em impostos. Como o delegado da operação, Victor Alves Ferreira (Polícia Federal) afirmou, as distribuidoras muitas vezes não passam de um escritório que terceiriza totalmente suas atividades:

Uma distribuidora de combustível, no entanto, não precisa de grandes instalações para operar: uma sala, uma mesa, um computador, uma impressora e um telefone já são suficientes para começar um negócio, já que seu combustível pode ser armazenado em tanques de terceiros, que cedem sua capacidade de estocagem mediante pagamento.

Ocorre que estes ‘terceiros’, muitas vezes, são na verdade as empresas ‘ostensivas’ do mesmo grupo econômico que colocou a distribuidora em nome de laranjas para sonegar tributos¹³.

Segundo Lopes, Silva e Conejero (2010), a maior parte das usinas também é contra essa logística de distribuição. Na opinião dos usineiros, a intermediação das distribuidoras gera custos desnecessários de transporte, já que são as próprias usinas que estocam e analisam a qualidade do produto. No entanto, as distribuidoras defendem esse sistema argumentando que, de outra forma, existiriam problemas de evasão fiscal, de garantia da qualidade do produto e de fiscalização por parte dos órgãos governamentais (Lopes, Silva e Conejero, 2010, p. 365).

Porém, o problema mais grave desse sistema é a coerção que as grandes distribuidoras fazem ou podem fazer sobre os pequenos produtores, posto que a pequena quantidade produzida torna caro ou inviável o transporte até a distribuidora. Segundo os autores do estudo:

Percebe-se a presença de poder de coerção uma vez que a distribuidora pode negar-se a negociar com determinada usina (principalmente com uma de menor porte) caso ela não atenda às suas exigências. Essa base de poder predomina à medida que aumentam a participação no mercado, o tamanho, a posição financeira e o conhecimento da distribuidora (Lopes, Silva e Conejero, 2010, p. 367).

Em uma análise feita pelo BDNES sobre a logística de distribuição do etanol no Brasil (Milanez, Nyko, Garcia et al, 2010), o relatório aponta a dificuldade de se construir uma logística eficiente para todo o território. Devido à concentração da maior parte da produção em alguns estados do sudeste e do centro-oeste, a grande distância dos outros mercados torna o frete muito caro, e ainda, o tamanho reduzido desses mercados distantes inviabilizam investimentos em outras formas de transporte como dutos, ferrovias ou aquavia, de forma que a homogeneização da intensidade de consumo de etanol no território brasileiro depende do desenvolvimento de um plano anterior de integração da infraestrutura logística nacional.

O relatório ainda aponta que 80% do etanol recolhido pelas distribuidoras segue diretamente para os postos, sem passar por realocação entre as bases, o que indica,

¹³ - O Estado de São Paulo, “Fraude em venda de etanol usava empresas ‘barrigas de aluguel’”, 16/08/2017. Disponível em: <http://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/fraude-em-venda-de-combustivel-usava-empresas-barrigas-de-aluguel/>, acesso em: 16/05/2017.

segundo os autores, a viabilidade de entrega das usinas diretamente aos revendedores (Milanez, Nyko, Garcia et al, 2010). Em alguns casos, isso de fato acontece, mas sempre passando pela distribuidora - que no caso só faz o transporte da usina aos postos por meio de caminhões, sem passar por nenhuma base de estocagem - devido à legislação, que obriga a usina a vender o etanol a uma distribuidora, mas não obriga a distribuidora a estocar o produto (Lopes, Silva e Conejero, 2010).

A partir do quadro apresentado, fica claro que a política energética atual não favorece a desconcentração da produção de etanol. Ao mesmo tempo em que essa rede formada especialmente por grandes produtores e distribuidores dificulta a entrada de novos atores (especialmente os menores), seu modo de funcionamento intensifica cada vez mais esse processo, favorecendo a concentração e a centralização.

Para efeito de análise, com base em nosso referencial teórico podemos considerar as grandes usinas e os grandes distribuidores como forte mediadores dessa rede, capazes de monopolizar a produção e excluir pequenos produtores. Ao mesmo tempo, o sistema de distribuição em vigor figura como um ponto de passagem obrigatório, obrigando tanto os grandes quanto os pequenos produtores a negociarem com as grandes distribuidores, tornando inviável ou muito custoso aos pequenos produtores participarem desse mercado.

Mas o que tudo isso tem a ver com o etanol celulósico? Pelo cenário acima apresentado, fica evidente que o etanol de segunda geração deve favorecer num primeiro momento ainda mais a concentração de capital e centralização da produção nas pouquíssimas usinas existentes, dado o elevado investimento necessário considerando as tecnologias existentes e previstas para os próximos anos. Este custo só poderá trazer retorno para quem produz em larga escala, suficiente para investir nessa tecnologia ainda muito cara. Como veremos na seção 5, nem mesmo as grandes usinas poderão arcar com esse investimento num primeiro momento, sendo provavelmente necessário a formação de clusters de várias usinas para a instalação de uma usina de segunda geração.

Isso nos leva a refletir se o etanol celulósico contribui com a desconcentração e democratização da produção de etanol e o seu retorno em termos socioeconômicos. Considerando os bilhões investidos pelo setor público (como veremos na seção 5) voltados para o desenvolvimento dessa tecnologia, que poucos poderão adotar e se beneficiar, é preciso nos perguntar a quem ela favorece.

É claro que com isso não queremos aqui combater as políticas de incentivo à pesquisa e produção de etanol de segunda geração, que poderia em alguns anos elevar drasticamente a eficiência e produção de etanol no país, o que é benéfico a todos em termos ambientais e energéticos. Mas talvez fosse necessário também pensar em um programa nacional que incentivasse a democratização da produção de etanol em pequenas propriedades, levando os benefícios do etanol para mais pessoas ao mesmo tempo em que eleva a produção, enriquecendo a economia de forma mais distributiva.

4 – O setor de energia e a rede sucroenergética

Nesta seção, planejamos apresentar as mudanças que as recentes reformas do setor de energia trouxeram nas últimas décadas, as oportunidades que criaram e os atores que surgiram ou passaram a atuar no setor desde então, assim como uma crítica ao seu estado atual e centralização do setor. Em seguida, abordaremos as possibilidades e desafios em torno do principal concorrente do E2G, a bioeletricidade sucroenergética. Explorando as questões e controvérsias que envolvem esses atores-rede, esperamos poder contribuir com um debate crítico, tanto à forma como o setor de energia elétrica e sucroenergético estão organizados, quanto em relação aos potenciais e questões envolvendo o etanol de segunda geração.

4.1 – As reformas no setor de energia e o papel das energias renováveis

A legislação e a estrutura política do setor energético brasileiro passaram por importantes alterações nos últimos 20 anos. Essas mudanças trouxeram novos atores e perspectivas para o mercado de energia elétrica, e por consequência, para o setor energético como um todo. Como veremos, a reforma realizada nas décadas de 1990 e 2000 permitiram que surgissem novas formas de energia e atores no setor energético, como a energia eólica, a solar, o produtor e o consumidor independente entre outras coisas. Mas talvez, o mais importante para o nosso estudo é que com essas reformas foi possível pela primeira vez a venda da energia elétrica excedente produzida nas caldeiras de cogeração das usinas de açúcar e álcool por meio da queima do bagaço de cana, o que tem consequências diretas para o setor sucroenergético e, como veremos, para o etanol de segunda geração.

Até a década de 90, a Petrobrás e a Eletrobrás eram as principais responsáveis pela produção, prospecção, operação e planejamento da expansão dos setores de petróleo, gás e energia elétrica, sendo que elas mesmas propunham ao Ministério de Minas e Energia as diretrizes energéticas (Carvalho, 2005). Eram também as próprias concessionárias públicas que produziam, transmitiam e distribuíam a eletricidade, sendo a participação de empresas privadas pouco expressiva nesse setor.

Esse modelo centralizado e verticalizado, iniciado em 1964 com a criação da Eletrobrás, vigorou praticamente inalterado até meados da década de 90, quando houve

uma grande reestruturação do setor de energia. Essa reestruturação é resultado de uma crise que se instalou no setor a partir dos anos 80 devido principalmente à crise financeira da união e dos estados, má gestão das empresas de energia e inadequação do regime regulatório (Gomes, 2003; Santos, 2010).

Segundo Santos (2010), a expansão do consumo elétrico superior a 12% a. a., que acompanhava as metas de crescimento do PIB de 10% a. a. entre 75 e 79 - de acordo com as políticas desenvolvimentistas dos anos 70 e 80, em especial o II PND -, assim como os projetos de grandes hidrelétricas, eletrificação rural, transmissão de energia, energia nuclear, etc, foram financiados com recursos externos. Porém, os governos da época não consideraram a retração da economia global, assim como a elevação das taxas de juros internacionais e o processo inflacionário causado por este endividamento.

Com isso, o setor elétrico começou a acumular problemas de fluxo de caixa na década de 80. O problema ainda se agravou na medida em que o governo manteve o programa de expansão de energia elétrica, acompanhado de redução das tarifas e impostos do setor, na tentativa de controlar a inflação. Com a instituição da equalização tarifária em 1974, o preço pago pela energia elétrica em várias regiões do Brasil era inferior ao custo, o que muitas vezes não chegava a ser compensado pelas regiões mais eficientes devido à política de controle das tarifas (Santos, 2010; Gomes, 2003).

Esse cenário levou a um grande endividamento das concessionárias públicas, especialmente as estaduais, responsáveis na época pela produção, transmissão e distribuição. Segundo Gomes (2003), enquanto que em 1973, cerca de 78% das fontes de recursos destinavam-se a investimentos e 15% ao pagamento de dívida, em 1989 esse quadro já havia se invertido, sendo que apenas 26% dos recursos eram investidos e 76% eram consumidos no pagamento de compromissos de terceiros. A má gestão das empresas de energia também era consequente da falta de critérios de eficiência produtiva e administrativa. Segundo o autor, existiam muitos interesses políticos locais e pressões de grupos de interesses vinculados às empresas construtoras.

Tudo isso levou a um desequilíbrio entre oferta e demanda de energia, aumento do déficit das empresas de energia, inadimplência intra-setorial, falência de várias concessionárias, paralisação de projetos de novas usinas (23 grandes projetos foram paralisados nessa época, totalizando mais de 10GW) e graves restrições nas transmissões de energia (Gomes, 2003).

Esses problemas criaram uma situação quase insustentável no setor de energia, o que levou à necessidade de reformas nas políticas do setor energético cada vez mais urgentes. A primeira mudança veio com o reajuste das tarifas em 1993, dando fim à equalização tarifária. Em 1995 é aprovada a Lei Geral de Concessões (lei 8.987/1995), que exigia que as concessões de diversos serviços públicos, incluindo o fornecimento de energia, fossem feitas através de licitações públicas. Complementando essa lei, a lei 9.074/95 estabelece que as antigas concessões poderiam ser renovadas ou concedidas novas concessões após o desmembramento das atividades de geração, transmissão e distribuição (Ferreira, 2000).

Em 1996 teve início o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RE-SEB), sob a coordenação da Secretaria Nacional de Energia do Ministério de Minas e Energia, concluído em agosto de 1998, para a criação de um modelo desverticalizado, descentralizado e competitivo para o setor elétrico. O projeto teve o auxílio da firma americana de consultoria e contabilidade Cooper & Lybrand, cujas principais recomendações foram: a) a criação de um mercado atacadista de eletricidade (MAE); b) o estabelecimento de contratos iniciais para criar uma fase de transição para o mercado competitivo; e c) o desmembramento dos ativos de transmissão e criação de um operador independente do sistema (OIS) para administrar o sistema interligado (SIN) (Ferreira, 2000).

Em 1996, então, é criada a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), uma autarquia vinculada ao MME que ficou responsável por regulamentar e fiscalizar as atividades das empresas do setor elétrico, públicas e privadas, gerir os contratos de concessão, fixar os critérios para os cálculos das tarifas, etc. Com a lei 9.648 de 1998 é estabelecido o regime de livre negociação de energia entre empresas geradoras e distribuidoras, assim como a criação do Mercado Atacadista de Energia (MAE) onde se daria esse mercado. Também é criado o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), responsável pela operação do SIN (Sistema Interligado Nacional), que administra a geração e transmissão de energia das diversas operadoras interconectadas, e garante o abastecimento de energia elétrica em praticamente todo o território nacional (Carvalho, 2005; Ferreira, 2010).

A partir de 1997, em sintonia com Programa Nacional de Desestatização do governo FHC, encerrou-se o monopólio de extração e processamento de petróleo pela Petrobras e deu-se início à privatização do setor elétrico. A maior parte das distribuidoras de energia elétrica, cerca de 80%, foi privatizada. Porém, menos de 20%

das empresas de geração tiveram o mesmo fim, permanecendo como empresas públicas (Carvalho, 2005).

Em março de 1998 entra em operação o MAE. Há a separação contábil das atividades de distribuição e comercialização no varejo; algumas empresas estatais foram separadas em várias companhias no processo de privatização da transmissão e distribuição de energia. Também foram criados novos agentes no mercado, como os produtores independentes e os consumidores livres (que podem escolher seus fornecedores de energia elétrica) (Carvalho, 2005).

Essas mudanças implementadas no setor elétrico no final dos anos 1990 e início dos anos 2000 trouxeram importantes alterações institucionais, orientadas por uma perspectiva de autorregulação pelo mercado, que se davam pelo Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE). Porém, a fragilidade desse sistema ficou evidente com os racionamentos em 2001 e 2002. Apesar das aflúncias dos anos hidrológicos de 2000 e 2001 terem ficado apenas 12% e 5%, respectivamente, abaixo da média histórica, houve racionamento de energia e risco de “apagão” por mais de um ano (Sauer, 2002). Segundo Tolmasquim (2011), o fator predominante para a ocorrência da crise de suprimento seria o atraso da entrada em operação de obras de geração e de transmissão e a ausência de novos empreendimentos de geração.

Diante da crise no setor elétrico que se instalou em 2001, é criada a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica por meio da medida provisória nº 2147 de 15 de maio de 2001 com a finalidade de propor e implantar medidas de natureza emergencial para evitar interrupções de energia elétrica, passando por cima da ANEEL. No âmbito dessa câmara, é criado o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico em junho de 2001 com a missão de sugerir propostas para corrigir as disfunções correntes e propor aperfeiçoamentos para o modelo de comercialização de energia elétrica.

O MAE então é substituído em 2004 pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) através da lei nº 10.848 de 2004, que, vinculado a ANEEL, ficou responsável por regulamentar e promover o mercado de energia elétrica. Para isso, foi criado o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), onde as licitações para contratação de energia elétrica são promovidas por meio de leilões, e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) onde os geradores, consumidores livres, autoprodutores, comercializadores, importadores e exportadores de energia estabelecem entre si

contratos bilaterais de compra e venda de energia com preços e quantidades livremente negociados.

Quanto à proposição das diretrizes da política energética, ainda em 1997 é criado o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que entrou em operação em 2000, e é o órgão responsável por isso. O conselho é formado por sete ministros (o de Minas e Energia; Meio Ambiente; Ciência e Tecnologia; Casa Civil; Fazenda; Planejamento, Orçamento e Gestão; e Desenvolvimento, Indústria e Comércio) além de um representante dos governos estaduais, um representante das universidades e um cidadão especialista em política energética (os dois últimos indicados pelo presidente).

Em 1999, o MME criou o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE), que ficaria responsável de coordenar e elaborar o planejamento da expansão da matriz energética. Porém, em 2002 uma nova lei substituiria o CCPE pelo Centro de Estudos e Planejamento Energético (CEPEN). Entretanto, o CEPEN nunca entrou em operação. Ao invés disso, em 2004, já no governo Lula, foi criada a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), uma empresa estatal que substituiu o CEPEN e é atualmente responsável pelos estudos, prospecção e planos de expansão do setor energético no médio e longo prazo (Carvalho, 2005; EPE, 2007).

Segundo Bajay e Carvalho (1998), a atuação dos governos sobre o setor de energia pode ocorrer a partir de três instrumentos básicos distintos: a) políticas públicas, b) planejamento e c) regulação de mercado. Ainda, a formulação de políticas públicas na área de energia seria uma típica atividade de governo, enquanto que o exercício da regulação constitui-se em uma atividade de Estado, calcada na regulamentação da legislação e exercida sob uma perspectiva de longo prazo. Já a atividade de planejamento possuiria ambas as características, dando suporte quantitativo na formulação de políticas energéticas do governo e sinalizando à sociedade metas de longo prazo, constituindo, portanto, uma regulação exógena. Antes das reformas no setor, o segundo e o terceiro item eram muito deficientes, sendo as atividades de planejamento associadas geralmente às estatais Petrobras e Eletrobras (Bajay & Badanhan, 2004).

Segundo Elliot (2000), a partir do sec. XXI começa a emergir um novo paradigma no setor de energia (ver quadro 4.1). Enquanto o antigo paradigma era baseado na energia não-renovável, gerada de forma centralizada, em grande escala e um

mercado monopolizado, o paradigma emergente é baseado na energia renovável, geração descentralizada, em pequena escala e um mercado liberalizado.

Quadro 4.1 - Paradigmas do setor energético

	Paradigma atual	Novo Paradigma
Fonte de energia	Não-renovável	Renovável
Tipo de energia	Concentrado	Difuso
Tecnologia	Grande escala	Pequena escala
Geração	Centralizada	Descentralizada
Impacto ambiental	Elevado, global	Reduzido, local
Mercado	Monopólio	Liberalizada

Fonte: Elliot, 2000

Com as reformas realizadas no setor em meados dos anos 90 e início dos anos 2000, as mudanças na forma de se produzir, distribuir, contratar e planejar a expansão energética no Brasil deram início a uma nova fase na política energética. O Estado perde o monopólio da produção e distribuição de energia, ao mesmo tempo em que se cria um mercado mais diversificado e regulado, com órgãos e instrumentos especificamente responsáveis pela avaliação (como o Balanço Energético Nacional realizado pela EPE), prospecção (Plano Decenal de Energia e Plano Nacional de Energia da EPE), planejamento (MME apoiado pelos estudos da EPE), definição de diretrizes (CNPE), regulação de mercado (CCEE e ANEEL), regulamentação do sistema elétrico (ANEEL), etc.

Entretanto, o setor de energia no Brasil ainda não se adequou totalmente ao novo paradigma. Se por um lado o Brasil destoa do resto mundo no que se refere à geração de energia através de fontes renováveis – sendo que 75% da energia elétrica e 41% do total da matriz energética advieram de fontes renováveis em 2015, enquanto a média mundial foi de respectivamente 21% e 13% nesse período (EPE, 2016b) – por outro lado, ainda é muito centralizado e baseado na grande escala. A maior parte da geração de energia no Brasil ainda provém das antigas estatais (Petrobrás, Eletrobrás) e a maior parte da geração de energia elétrica ainda se dá por meio de grandes centrais hidrelétricas. Em

2015, a capacidade instalada das grandes centrais hidrelétricas era de 86.366MW, enquanto as pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e centrais de geração hidrelétrica (CGH - menos de 1MW) totalizavam somente 5.284MW (EPE, 2016).

Com essas reformas, surgiram novas oportunidades e novos atores no setor energético, como o produtor independente, o consumidor livre, a pequena central hidrelétrica, a energia solar, a energia eólica - que é a forma de energia que mais cresce atualmente e que deve saltar dos atuais 2% do total da eletricidade produzida no Brasil para 8% em 2024 (EPE, 2016) - e também a geração de energia elétrica através da biomassa da cana, a qual veremos com mais detalhes a seguir. Não fossem as reformas do setor elétrico da década de 90, a cogeração de energia e seus produtores não figurariam na lista de atores do setor de energia elétrica.

Apesar de ser responsável por uma parcela considerável da capacidade instalada de geração elétrica – mais de 12GW em 2014 (EPE, 2015b) - e uma excelente alternativa à geração centralizada e em grande escala, a produção de eletricidade proveniente da biomassa da cana não conta com nenhum incentivo de mercado até o momento.

Além disso, por utilizar o mesmo insumo (no caso o bagaço e a palha), o etanol de segunda geração compete diretamente com a exportação de bioeletricidade excedente nas usinas, o que desfavoreceria a descentralização da geração de eletricidade no Brasil. Exploraremos essa controvérsia na próxima seção.

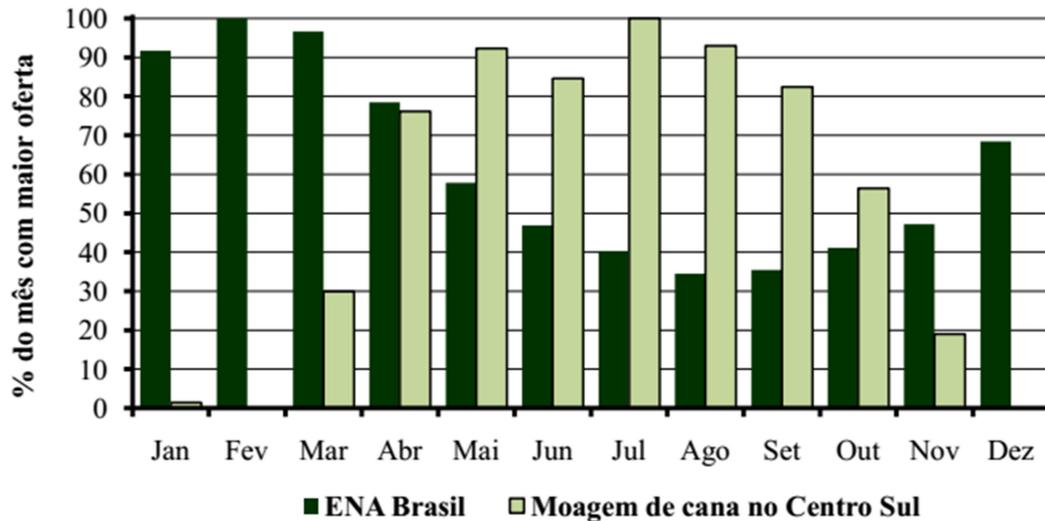
4.2 – A bioeletricidade sucroenergética

Além das vantagens já reconhecidas da cana-de-açúcar, como ser uma fonte de energia renovável, sustentável e de baixa emissão de carbono, a energia elétrica obtida por meio da biomassa da cana revela-se cada vez mais interessante e de importância estratégica para a segurança energética nacional, na medida em que, assim como a energia eólica, ela é complementar ao regime hídrico, ou seja, o período de colheita e processamento da cana-de-açúcar se dá justamente no período de estiagem.

De forma regular, a safra sucroenergética na região Sudeste/CentroOeste, onde se concentra a maior parte da produção de cana no Brasil e mais de 70% da capacidade dos reservatórios brasileiros, ocorre entre os meses de abril e novembro, coincidindo exatamente com o período de estiagem nessa região (Castro, Brandão e Dantas, 2010), como revela o gráfico a seguir. A oferta de 20TWh em bioeletricidade para o sistema

elétrico em 2015 representou uma economia de 14% das águas nos reservatórios do submercado elétrico Sudeste/Centro-oeste (Unica, 2016).

Gráfico 4.1 - Afluência e moagem de cana na região centro sul



Extraído de: Castro, Brandão e Dantas, 2010. *ENA (Energia Natural Afluente).

Além disso, segundo a EPE (2016), a maioria das usinas hidrelétricas viáveis para o horizonte decenal se enquadram na categoria “fio d’água”, com baixa capacidade de armazenamento. Isso torna o risco de utilização de termelétricas a gás ou óleo para suprir a demanda de eletricidade nos próximos anos ainda maior que atualmente, o que reforça a necessidade de se investir em bioeletricidade.

Portanto, o incentivo à produção de bioeletricidade nas usinas de cana-de-açúcar poderia contribuir com o setor e a política energética em vários sentidos:

- 1) **Segurança energética**, posto que a moagem da cana coincide com o período de estiagem na principal região produtora de hidroeletricidade e cana-de-açúcar (Centro Sul).
- 2) **Desconcentração energética**, reforçando um elemento alternativo da matriz elétrica e diminuindo, assim, a proporção de energia gerada através de grandes centrais hidrelétricas.
- 3) **Descentralização do setor**, contribuindo com a geração distribuída, produzida próxima aos centros consumidores, em pequena escala.

- 4) **Geração de energia limpa e alternativa.** Apesar de a hidroeletricidade ser uma energia renovável, a grande central hidrelétrica não é considerada uma fonte alternativa devido ao seu grande volume e impacto socioambiental.
- 5) **Liberalização do mercado,** trazendo mais atores ao mercado de energia elétrica e diminuindo o peso das grandes concessionárias.

Porém, não podemos esquecer que ela compete diretamente com o etanol de segunda geração, posto que ambos utilizam o mesmo combustível, no caso, o bagaço e a palha da cana. De certa forma, tanto a bioeletricidade quando o etanol celulósico são energias de segunda geração, já que utilizam uma matéria-prima que já foi previamente processada para gerar energia (no caso, o etanol comum de primeira geração proveniente do caldo da cana).

Da mesma forma que a bioeletricidade diminui o peso da eletricidade gerada nas grandes centrais hidrelétricas, o etanol de primeira e segunda geração contribui para a diversificação dos biocombustíveis líquidos, diminuindo o peso dos derivados do petróleo no setor de transportes e a parcela da Petrobrás no setor energético como um todo, além de serem fontes de energia mais limpas que as tradicionais e renováveis.

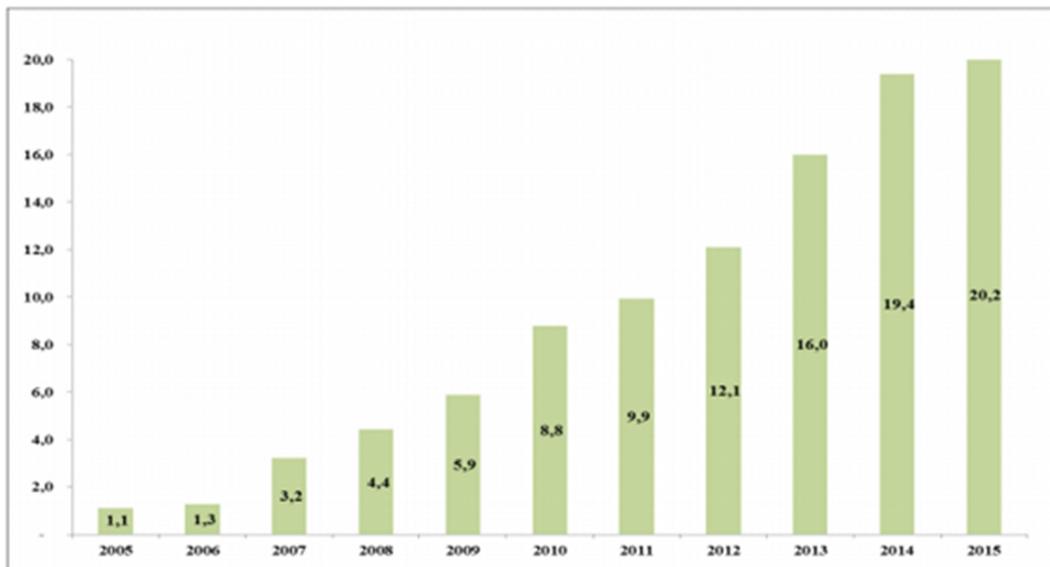
A grande controvérsia que se dá ao redor dessas alternativas é qual delas seria mais vantajosa para as usinas e o setor de energia como um todo. Ambas contribuem com o novo paradigma, necessitam de investimentos por parte das usinas e parecem promissoras no médio e longo prazo. Porém, a bioeletricidade requer investimentos menos volumosos, possui um aparato tecnológico mais acabado e pode trazer retornos em menos tempo, enquanto o E2G ainda tem um longo caminho a percorrer.

A maior parte das usinas de açúcar e álcool no Brasil é praticamente autossuficiente, atendendo até 98% da sua demanda energética por meio de processos de cogeração (produção de energia térmica e mecânica que pode ser convertida em energia elétrica a partir de um mesmo insumo energético) através da queima do bagaço da cana e da palha em caldeiras (Corrêa Neto e Ramón, 2002).

Desde 1998 quando foi criada a figura do Produtor Independente, as usinas de açúcar e álcool podem vender o excesso de energia produzido em seus sistemas de cogeração para o sistema elétrico por meio dos leilões de energia promovidos pela CCEE. Em 2015, a oferta de energia para o Sistema Interligado obtida através da biomassa de cana-de-açúcar totalizou mais de 20TWh em 2015 (Unica, 2016 – ver

gráfico 4.2)¹⁴. Isso é quase duas vezes o montante oferecido através dos parques eólicos no mesmo ano e representa quase 4% do total produzido de energia elétrica no Brasil (EPE, 2016b). Se for considerado o autoconsumo das usinas, que não entra como um dado positivo nos balanços de eletricidade, mas representa uma economia de energia por parte do sistema produtivo, podemos somar mais 15 TWh, totalizando 35 TWh (EPE, 2015b - ver gráfico 4.2).

Gráfico 4.2 – Geração de bioeletricidade sucroenergética, 2005-2015 (TWh)

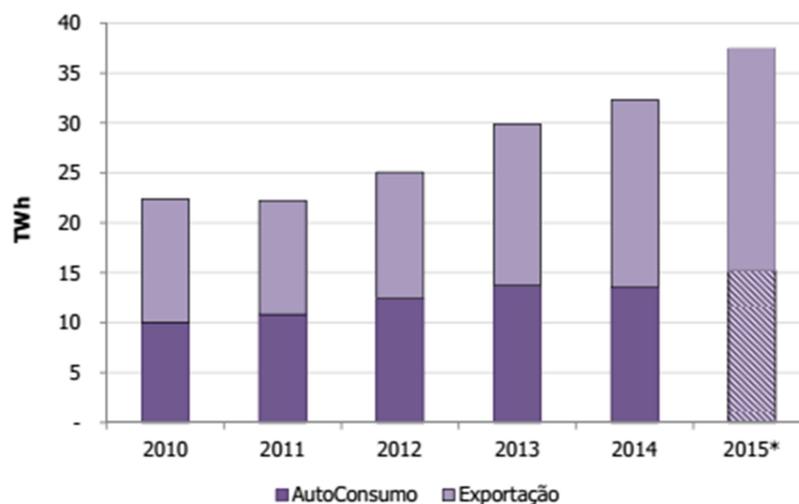


Extraído de: Unica, 2016.

¹⁴Canal Bioenergia, “Bioeletricidade gerada pela cana-de-açúcar é fundamental para o Brasil”. 18/02/2016, disponível: <<http://www.canalbioenergia.com.br/eletricidade-gerada-pela-cana-de-acucar-e-fundamental-para-brasil/>>

NovaCana, “Energia da biomassa representou 8% do consumo nacional de eletricidade em agosto”, 21/10/2015, disponível: <<https://www.novacana.com/n/cogeracao/mercado/energia-biomassa-consumo-nacional-eletricidade-agosto-211015/>>
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfuF4AA/a-producao-energia-eletrica-a-partir-biomassa>>

Gráfico 4.3 - Autoconsumo e Energia Exportada pelas usinas



*2015 - projeção

Fonte: EPE, 2015b.

Porém, esses números ainda são muito tímidos comparados ao seu potencial. Segundo o BNDES, em 2009 apenas 100 das 438 usinas em atividade exportaram energia, equivalente a uma potência média de 670MW. Para se ter uma noção aproximada do potencial da bioeletricidade, Associação da Indústria de Cogeração de Energia (Cogen) estimou que se todas as usinas fossem equipadas com caldeiras de alta pressão (60 bar) e utilizassem 75% do bagaço e 10% da palha para exportação de energia, a potência excedente chegaria à casa de 10.000MW, equivalente a 70% de Itaipu (14.000MW) (Nyko et al, 2011).

Atualmente, a maior parte das usinas utilizam tecnologias de baixa eficiência para a produção de eletricidade, no caso, o ciclo a vapor com turbinas de contrapressão, já que na maior parte das vezes utilizam a eletricidade produzida a partir do bagaço de cana apenas para sua autossuficiência energética.

As caldeiras adotadas nessas usinas operavam com pressão de até 22bar e 320°C, o que possibilitava apenas a sua autossuficiência. Porém, segundo o relatório sobre o bioetanol do CGEE (2009), a indústria nacional de equipamentos já domina tecnologias de caldeiras de alta pressão e eficiência, capazes de operar com pressão de até 65 bar e 490°C, podendo gerar mais de 300t/h de vapor e 50MW de potência. Essa modalidade corresponde às caldeiras adotadas nas usinas modernizadas para cogeração de eletricidade excedente e é o padrão atualmente em novas instalações. Ainda,

configurações que utilizam turbinas de extra-condensação e operam a 90 bar/520°C se encontram em fase final de desenvolvimento e já são adotadas em algumas usinas.

Além disso, o CGEE (2009) encontrou sistemas em desenvolvimento pela indústria nacional que operam a mais de 100 bar e 530°C, com potência de até 150MW. Porém, esses sistemas são destinados somente ao mercado externo, já que o aço brasileiro aguenta no máximo 520°C e os geradores nacionais operam só até 50MW, o que acarretaria custos de importação inviáveis.

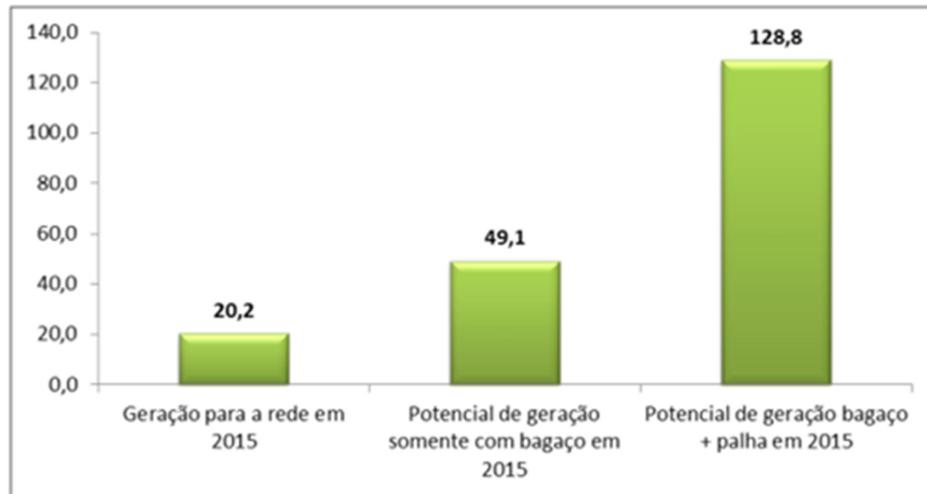
A substituição das antigas turbinas de simples estágio por turbinas multi-estágio, de maior eficiência, assim como o emprego de motores elétricos para o acionamento dos equipamentos de moagem da cana (ao invés do vapor), vêm ocorrendo em muitas usinas e destilarias, o que possibilita o aumento da geração de excedentes de eletricidade no sistema de cogeração (CGEE, 2009).

Novas tecnologias como a de extracondensação, já adotada em algumas usinas modernizadas, são capazes de gerar em média 96 kWh por tonelada de cana processada, mais que o dobro produzido pelas caldeiras tradicionais. O desenvolvimento da tecnologia de gaseificação da biomassa, que ainda não é comercialmente viável, representará um grande salto no potencial de geração de bioeletricidade, capaz de produzir até 270 kWh de energia elétrica excedente por tonelada de cana processada (Kitayma, 2008; Goldemberg, 2000).

Ainda, seria possível dobrar a produção de energia elétrica excedente e estender a sua produção para o ano todo caso fosse utilizada a palha da cana para alimentar as caldeiras além do bagaço excedente, aumentando o volume de energia produzido nas usinas modernizadas de 80kWh/tonelada de cana para 150kWh/tonelada (Leal, 2010).

Porém, isso ainda não é uma tarefa simples. O recolhimento, transporte e armazenamento da palha da cana possui diversos gargalos técnicos e econômicos que inviabilizam atualmente o seu aproveitamento na maioria das situações (Cortez et al, 2010), especialmente enquanto os leilões de eletricidade primarem pela pura concorrência com outras formas de produção de energia (como hidrelétricas e termelétricas) sem beneficiar a produção sustentável.

Gráfico 4.4 Potencial técnico de oferta de bioeletricidade sucroenergética



Extraído de: Unica, 2016.

Na medida em que o preço-teto nos leilões de energia assumem valores mais altos, o investimento nesse tipo de energia torna-se cada vez mais atraente. Um estudo econômico a respeito projeta que a bioeletricidade sucroenergética em novos projetos torna-se viável a partir de R\$155,00/MWh, enquanto que em usinas remodeladas exigem um preço de R\$180,00/MWh, (Castro et al, 2008; Goldemberg, 2000), valores cada vez mais próximos aos praticados pelos recentes leilões na CCEE.

Segundo a EPE (2016), dentre as 362 usinas em operação, cerca de 200 unidades comercializam energia e, dentre estas, somente 40% o fazem através de leilões de energia (o restante é comercializado dentro do Ambiente de Contratação Livre). Utilizando somente a tecnologia atual, o setor sucroenergético seria capaz de oferecer até seis vezes mais bioeletricidade se utilizasse todo o material (bagaço + palha) somente para gerar eletricidade. Ainda segundo o mesmo relatório, os principais fatores que inibem a maior contribuição da bioeletricidade no cenário nacional são localização de algumas usinas, longe dos pontos de distribuição de energia e problemas de licenciamento, por descasamento entre os prazos de leilões e as respostas dos órgãos ambientais.

Uma pesquisa realizada pelo BNDES tentou identificar os principais entraves relativos à exportação de bioeletricidade nas usinas de açúcar e álcool em todo o Brasil. Foram enviados questionários às 438 usinas em operação naquele ano (2011), das quais 207 responderam, correspondentes a cerca de 65% do processamento de cana da safra 2009-2010 e, portanto, uma amostra bastante significativa (Nyko et al, 2011).

Esse estudo chegou a interessantes conclusões, contradizendo vários mitos sobre o assunto e apontando causas até então inexploradas. Por exemplo, foi constatado a partir das respostas que, ao contrário do que se pensava, a distância em relação à rede elétrica e a suposta baixa remuneração pela energia, não são considerados entraves relevantes pelos produtores, especialmente na região de São Paulo. Os custos com a elevação da tensão para a rede de distribuição aparecem nesse estado como uma questão muito mais importante que a distância.

Porém, os fatores apontados pelas usinas que ainda não exportam energia que mais se destacaram foram a relativa ausência ou condições pouco favoráveis de programas de financiamento para projetos de cogeração e dificuldades financeiras, especialmente para as usinas menores (que processam menos de 2Mt de cana por ano) e que necessitam de modernização de seus equipamentos de cogeração e processamentos (retrofit) para produzir eletricidade de forma eficiente, o que implica em custos adicionais elevados que os novos projetos (greenfield - projetos em fase de planejamento, que ainda não saíram do papel), já otimizados para a cogeração, têm coberto por programas de financiamento em sua construção. Tanto é que de todos os projetos greenfield que foram financiados e construídos até 2010, 73% exportavam energia (Nyko et al, 2011).

Ainda, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015) as novas usinas que implantaram a cogeração de alta eficiência em suas plantas terão dificuldades para produzir etanol de segunda geração num horizonte de dez anos, posto que praticamente todo o bagaço já está comprometido. A EPE ainda sugere que neste caso as usinas terão que utilizar a palha, a ponta da cana ou ainda a supercana para produzir E2G, o que acarreta custos com investimentos adicionais ainda não avaliados.

A partir do nosso referencial teórico, podemos considerar as tecnologias de cogeração e seus materiais, como as caldeiras, os transformadores, o bagaço e a palha enquanto actantes, ou seja, atores não-humanos que ainda não possuem uma figuração totalmente definida, posto que ainda não estão completamente desenvolvidos e muitas são as suas possibilidades, mas que podem afetar a produção de eletricidade em vários sentidos num futuro muito próximo. Com isso, podemos perceber que a rede do etanol celulósico está diretamente imbricada com a rede de cogeração de energia nas usinas, associando vários elementos comuns que estão neste caso em disputa, como o bagaço, a palha e os recursos das usinas para investimento.

4.3 – Etanol celulósico ou bioeletricidade?

Muitas coisas mudaram desde o início das reformas do setor energético iniciadas em meados dos anos 90. A produção e distribuição de energia elétrica foi desverticalizada, ao mesmo tempo em que se criou um livre mercado de energia, onde produtores independentes podem vender sua produção para o sistema elétrico nacional através de leilões ou negociar livremente com os consumidores livres. Além disso, novos atores surgiram, como a pequena central hidrelétrica, a energia eólica e a bioeletricidade proveniente do excedente gerado nas caldeiras das usinas de açúcar e álcool.

Porém, outros aspectos mantiveram-se quase inalterados, como a produção de eletricidade, que permanece fortemente centralizada nas grandes centrais hidrelétricas. O setor sucoenergético também continuou concentrado na região centro-sul, onde estão a maior parte das usinas e da produção de cana-de-açúcar. Mesmo a produção de bioeletricidade ainda é subutilizada.

Além disso, como discutimos na seção 3.3, a forma como o etanol é distribuído fortalece ainda mais essa centralização, dificultando a entrada de novos e pequenos produtores, assim como fortalecendo os já estabelecidos.

A partir do material consultado e dos relatórios oficiais da EPE, pudemos constatar uma controvérsia relacionada ao uso produtivo do bagaço excedente das usinas e da palha, posto que a produção de bioeletricidade e o etanol de segunda geração competem por esses insumos.

Baseado nos conceitos do nosso referencial teórico, podemos considerar o bagaço da cana e a palha como importantes actantes da rede tanto do etanol celulósico quanto da cogeração, posto que são importantes elementos não-humanos cuja figuração ainda não está definida. Se o bagaço excedente e a palha vão figurar enquanto principal insumo da bioeletricidade ou do E2G nos próximos anos, ou ainda dividir esse papel, é uma questão ainda aberta, apesar de alguns apontamentos.

O etanol de segunda geração revela-se ainda mais controverso quando consideramos a questão da centralização, posto que ainda é um investimento muito elevado, deve fortalecer ainda mais a posição das grandes usinas num primeiro momento.

Como vimos na seção 3.4, o etanol celulósico pode contribuir com a concentração e centralização da produção de etanol nas grandes usinas do Centro Sul, já

que, de acordo com os técnicos do CTC, somente grandes usinas, aglomeradas em torno de clusters, poderão investir em plantas de segunda geração no médio prazo. Já a produção de bioeletricidade contribui com a descentralização da matriz elétrica, e não necessita de investimentos tão grandes por parte das usinas, podendo se dar de forma mais distribuída.

O incentivo à produção de bioeletricidade nas usinas de cana poderia contribuir inclusive com a desconcentração da produção de cana e etanol no Brasil como um todo. Ao tornar o investimento em usinas de cana-de-açúcar mais rentáveis devido à produção complementar de bioeletricidade (sem a necessidade de grandes investimentos como o E2G), novas usinas poderiam se instalar espalhadas pelo Brasil, longe do Centro Sul.

Entretanto, isso não deve se tornar realidade a não ser que a política energética tome uma nova direção e incentive a produção de bioeletricidade e instalação de microusinas, assim como fez com a energia eólica (Camillo, 2013). Segundo Goldemberg (2008), os principais instrumentos regulatórios que podem ser utilizados para promover o uso de fontes alternativas são:

- a) regulamentos ambientais em geral;
- b) padrões de desempenho de equipamentos;
- c) políticas de compra do governo que privilegiem certos tipos de equipamentos ou fontes de energia;
- d) imposição de uma parcela mínima de fontes alternativas no portfólio de empresas distribuidoras;
- e) planejamento integrado de recursos;
- f) programas informativos.

Várias ações nesse sentido poderiam ser tomadas para incentivar o uso e produção de bioeletricidade e a instalação de novas usinas, como: imposição por parte da ANEEL de uma parcela mínima de energia alternativa por parte das concessionárias (sistema de cotas); direcionamento de recursos para P&D em bioeletricidade por meio da já existente lei nº 9.991/2000 que obriga as empresas do setor elétrico a aplicarem pelo menos 1% de seus lucros líquidos em P&D para a eficiência e conservação energética; leilões específicos para a compra de bioeletricidade como os que foram feitos para a energia eólica; programas de financiamento para novas usinas que utilizem

cogeração e reforma de antigas usinas; entre muitas outras saídas que poderiam envolver regulamentos ambientais, padrões de desempenho, etc.

Portanto, apesar de seus benefícios, produzir bioeletricidade também envolve questões ainda abertas que requerem esforços dos governos e investimentos das usinas, assim como o etanol celulósico. Ao contrário da maior parte do mundo, o etanol de segunda geração no Brasil não vem para substituir o de primeira geração ou tornar a produção de etanol mais competitivo, mas sim para complementá-lo, posto que o Brasil produz o etanol de primeira geração mais barato do mundo (ver figura). Enquanto na maior parte do mundo produzir etanol é mais caro do que produzir gasolina e as políticas de incentivo ao uso de etanol são mais ambientais do que econômicas, o Brasil é uma das únicas exceções em que produzir etanol pode ser mais barato que a gasolina. Por isso, enquanto países como os EUA e França querem um etanol de segunda geração a preços competitivos, no Brasil esse etanol será mais caro que o de primeira geração no médio prazo.

Como os números do BNDES (2011) apontam, a maior parte das novas usinas está investindo em processos avançados de cogeração, o que indica o seu interesse em produzir e exportar energia em curto ou médio prazo. Isso nos leva a crer que o etanol celulósico ainda é visto com cautela pela maior parte das usinas, que preferem investir na produção de bioeletricidade por enquanto, mesmo que no longo prazo, se um dia decidirem produzir E2G, o bagaço tenha que ser dividido entre essas duas coisas.

O que provavelmente deve acontecer em nossa opinião é que no longo prazo, as usinas equipadas para exportar eletricidade e produzir E2G equalizem a produção de bioeletricidade ou E2G, assim como já fazem com o etanol comum e o açúcar, de acordo com o que for mais vantajoso naquele momento, tornando a rentabilidade da usina mais segura em relação às flutuações do mercado de eletricidade, etanol e açúcar.

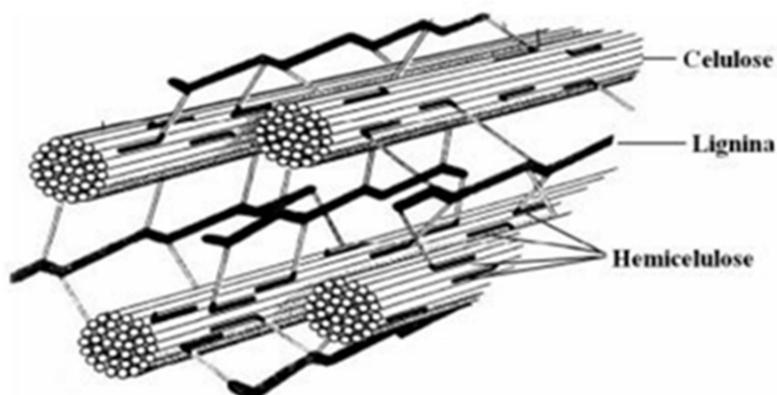
5 – O Etanol celulósico: rede e translações

Nesta seção, apresentamos, relacionamos e analisamos os principais atores-rede, humanos e não-humanos, que formam a rede do etanol celulósico no Brasil. Em um primeiro momento, descreveremos como o etanol de segunda geração pode ser produzido e quais são as tecnologias e elementos técnicos fundamentais dessa rede que envolve pesquisa, desenvolvimento e produção simultaneamente. Nossa premissa básica é demonstrar como esses atores não-humanos (ou actantes) atuam e influenciam o destino dessa rede. Em seguida, abordamos as principais políticas e programas públicos de pesquisa e financiamento sobre o assunto, descrevendo o seu funcionamento e seu grau de importância dentro da rede. Em um terceiro momento, trataremos das principais iniciativas identificadas, apresentando o histórico dessas empresas sobre o assunto, suas estratégias, alianças, desafios e expectativas. Por fim, debateremos com base em nosso referencial teórico como esses diversos atores formam uma rede, seu grau de importância e força e as questões e controvérsias encontradas.

5.1 – Os actantes: rotas e atores não-humanos do E2G

Para se compreender quais são os atores não-humanos envolvidos na rede de desenvolvimento do etanol celulósico e as controvérsias técnicas aí envolvidas, é preciso entender como o etanol celulósico pode ser produzido. O bagaço de cana-de-açúcar é formado de celulose (um pouco mais de 1/3), hemicelulose (cerca de 1/3) e lignina (cerca de 20%) (ver figura 5.1 e tabela 5.1). Lembrando que essa proporção pode mudar ligeiramente de acordo com a variedade de cana. A hemicelulose é mais fácil de ser hidrolisada do que a celulose, porém, ela gera açúcares de cinco carbonos (pentoses) que são mais difíceis de serem fermentados com as tecnologias atuais. Essa fração da hidrólise é geralmente descartada, o que compromete a viabilidade econômica do processo. Por outro lado, a hidrólise da celulose é mais complicada e dispendiosa atualmente, porém, ela gera hexoses, que são fáceis de serem fermentadas com a tecnologia atual. Segundo Cardoso:

Figura 5.1 – Representação das fibras lignocelulósicas do bagaço de cana-de-açúcar



Extraído de: Seabra, 2008.

Tabela 5.1 – Composição da biomassa lignocelulósica (% em base seca)

	Bagaço de cana	Eucalipto	Pinheiro
Celulose	37	49.5	44.5
Hemicelulose	28	13	22
Lignina	21	27.5	28
Outros	14	10	5.5

Fonte: Hamelinck et al, 2005.

Existem duas rotas tecnológicas atualmente para se produzir etanol de segunda geração: a termoquímica (gaseificação, pirólise) e a bioquímica (hidrólise). A conversão através do processo termoquímico utiliza calor para transformar a biomassa em componentes líquidos ou gasosos, os quais podem ser convertidos em combustíveis. Já a conversão pelo processo bioquímico utiliza compostos químicos como ácidos ou enzimas para converter a celulose e hemicelulose, presentes no bagaço, em açúcares (pentoses e hexoses) (Silva, 2013).

A rota mais desenvolvida e utilizada na maior parte do mundo é a bioquímica (Hamelinck et al, 2005). Nessa rota de conversão, para se obter o etanol de segunda geração, é necessário - após um pré-tratamento para adequar a matéria-prima (que pode ser físico, químico ou biológico) - hidrolisar o bagaço com a ajuda de ácidos ou enzimas, ou seja, transformar o bagaço da cana-de-açúcar em um caldo formado por açúcares. Após a hidrólise esse caldo resultante é fermentado como o etanol de primeira

geração e destilado. Dentro dessa rota também existem outras duas opções: a hidrólise ácida e a enzimática. Segundo Cardoso:

Para que as biomassas possam ser utilizadas como matérias-primas para processos químicos e biológicos elas precisam ser submetidas a um pré-tratamento para desorganizar o complexo lignocelulósico. A lignina é o grande obstáculo nesse processo todo. A quebra desse componente libera fenóis e outros produtos químicos que inibem o processo fermentativo. Só após ser feito o pré-tratamento do material aplica-se uma das duas vias de transformação da celulose em açúcar para obtenção do etanol. As celulases, por serem proteínas, não conseguem penetrar com facilidade a barreira da lignina das células vegetais e, dessa forma, o difícil acesso destas enzimas às fibras de celulose constitui o principal problema para desencadeamento desse processo de degradação (Cardoso, 2008, p. 20).

A hidrólise ácida é utilizada há mais de um século e consiste em utilizar um ácido concentrado ou diluído para converter o bagaço em açúcares. Essa rota possui um alto rendimento de separação dos açúcares (tanto de hexoses quando de pentoses) entre 75 e 90%, e se dá de forma rápida. Porém, exige uma alta temperatura de operação, produz muitos resíduos e desgasta os equipamentos, exigindo a limpeza e manutenção dos mesmos regularmente (Hamelinck et al, 2005; Seabra, 2008; Ogeda e Petri, 2010).

Os processos com ácido diluído utilizam altas temperaturas e pressões, com tempos de reação de segundos a alguns minutos, facilitando o uso de processos contínuos. Entretanto, em temperaturas elevadas, as pentoses da hemicelulose, e numa extensão menor as hexoses, são rapidamente degradadas. A formação de produtos de degradação podem inibir a fermentação. Portanto, a hidrólise com ácido diluído é dividida em duas etapas. Na primeira se hidrolisa principalmente a hemicelulose em condições mais amenas. Na segunda são utilizadas temperaturas mais altas buscando otimizar a hidrólise da fração celulósica. Porém, devido às suas condições extremas, é mais difícil a integração do processo com as outras etapas e produz um rendimento menor de açúcares comparado aos processos com ácido concentrado (Seabra, 2008; Soares e Vaz Rossell, 2007; Ogeda e Petri, 2010).

Em contrapartida, os processos com ácido concentrado são conduzidos em condições mais amenas, mas com tempos de reação mais longos. Outra grande limitação desse processo se refere à aquisição e reciclagem do ácido (que precisa ser

reutilizado para ser viável), assim como a sua posterior neutralização (Seabra, 2008; Soares e Vaz Rossell, 2007).

Já a rota enzimática utiliza enzimas (geralmente as “celulase”) para converter o bagaço em açúcares. Essa rota exige condições de temperatura e pressão bem mais brandas e possui um excelente rendimento, entre 75% e 85%, além de não gerar resíduos. Porém, seu tempo de operação é muito maior, às vezes de mais de 24 horas. Esses processos ainda são limitados por fatores ligados aos altos custos das enzimas, e gasto energético devido aos grandes volumes que tem de ser mantidos aquecidos e agitados por longo tempo. Apesar das pesquisas com a rota enzimática serem mais recentes e menos desenvolvidas que a rota ácida, a hidrólise enzimática já se consolidou como o novo paradigma, sendo a rota mais estudada e utilizada atualmente, possuindo as melhores expectativas entre todas para médio prazo (Rabelo, 2010; Seabra, 2008; Soares e Vaz Rossell, 2007).

Os custos do uso das celulasas comercialmente ainda é muito elevado, o que torna a rota enzimática ainda desafiadora, apesar de ser a rota com o maior potencial. Segundo estudos, uma maneira de fazer o processo enzimático economicamente mais viável é reutilizar as enzimas, imobilizando-as sobre substratos sólidos, de tal forma que as propriedades catalíticas sejam mantidas. O grande desafio desta estratégia é que ao imobilizar a enzima, esta mantenha sua estrutura nativa (Ogeda e Petri, 2010).

Segundo Rossell (2006) é possível obter até em 186 litros de etanol de cada tonelada de bagaço, sendo 123 litros obtidos de fermentação de hexoses produzidas e 63 litros da fermentação de pentoses. Muitos autores ressaltam que no futuro a tendência é o desenvolvimento de microrganismos capazes de fermentar ambos os açúcares no mesmo reator, o que deve elevar grandemente o rendimento do processo (Silva, 2013; Seabra 2005; Rosa e Garcia, 2009; Hamelinck et al., 2005; Cardoso, 2008).

Dentro da rota bioquímica (hidrólise ácida e enzimática) ainda são possíveis diversos processos diferentes que são desenvolvidos e aplicados por diferentes empresas. Esses processos ainda podem ser combinados, inclusive com a fase de pré-tratamento. O pré-tratamento é imprescindível para a produção do E2G e necessário para se separar a lignina, solubilizar a hemicelulose e reduzir a cristalinidade da celulose, tudo isso com o objetivo de facilitar o processo de hidrólise (Grossi, 2015). Um pré-tratamento ideal é aquele que produz fibras reativas, preserva a utilidade da fração hemicelulósica e não libera compostos que inibam significativamente a

fermentação (Lynd, 1996). Há quatro tipos principais de pré-tratamento (Silva 2013; Cardoso, 2008):

- 1) método físico, onde a biomassa é moída e transformada num pó fino, quebrando assim a estrutura que a prende à celulose;
- 2) métodos químicos, no qual uma solução ácida ou alcalina com temperatura elevada quebra a estrutura da biomassa lignocelulósica;
- 3) métodos físico-químicos, que combinam processos químicos com bioquímicos e;
- 4) métodos biológicos, que utilizam fungos para realizar a separação das frações de celulose e hemicelulose.

Segundo Seabra (2008), a maior parte dos estudos apontam o pré-tratamento com ácido diluído como o mais desenvolvido até o momento. Entretanto, os altos custos associados ao consumo de ácidos, os problemas relacionados aos resíduos e a necessidade do uso de equipamentos resistentes à corrosão pesam a favor da explosão de vapor no médio prazo (Hamelinck et al, 2005). Embora seja um processo menos eficaz, a explosão de vapor é mais simples e ainda há a possibilidade de melhoria dos rendimentos através da pesquisa e desenvolvimento. É essa modalidade que é utilizada nas usinas de segunda geração brasileiras até o momento. Para o longo prazo, espera-se que a termo-hidrólise (LHW - *Liquid Hot Water*) esteja comercialmente disponível com rendimentos elevados e seja o processo de pré-tratamento preferido (Hamelinck et al, 2005).

Para se extrair o etanol do bagaço da cana-de-açúcar é necessário um pré-tratamento do material seguido da hidrólise da celulose e por fim a fermentação do caldo hidrolisado. Porém, existem várias configurações diferentes possíveis de se combinar essas etapas na rota enzimática.

O tipo mais simples é o *Separate Hydrolysis Fermentation* (SHF). Nessa configuração, pré-tratamento (geralmente ácido), hidrólise da celulose e fermentação se dão em reatores separados. Essa configuração simplesmente substitui a etapa de hidrólise ácida da celulose por uma etapa enzimática (Hamelinck et al., 2005). Segundo Seabra (2008), a grande vantagem desta configuração é a possibilidade de se conduzir cada etapa do processo na sua condição ótima, mas a grande desvantagem é o fato de os açúcares liberados inibirem a enzima durante a hidrólise.

Uma forma aprimorada desse processo é o *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF), onde a fermentação das hexoses (glicose) se dá simultaneamente à hidrólise da celulose, reduzindo enormemente a inibição dos produtos à hidrólise. O maior problema nas operações que fazem a hidrólise enzimática e a fermentação separadamente (SHF) é que a glicose e celobiose permanecem no mesmo meio que a celulose e celulase e esses sacarídeos inibem a ação da celulase. Embora a adição de grande quantidade de celulase possa contornar esse problema, isso torna o processo muito custoso. Uma forma de se resolver esse problema é adicionando-se o microorganismo fermentativo ao mesmo reator onde estão sendo hidrolisados os açúcares (SSF). Desta forma, glicose e celobiose e são rapidamente fermentadas a etanol, reduzindo o acúmulo destes inibidores de celulase e dos custos (Seabra, 2008, Ogeda e Petri, 2010; Galbe e Zacchi, 2010).

Além de reduzir os problemas de inibição pelos açúcares, o processo SSF requer menos enzimas, menor exigência por esterilidade do meio, menos tempo de processo, maior rendimento do produto e maior economia devido ao número reduzido de reatores e menor demanda energética. Mas entre as desvantagens pode-se incluir a incompatibilidade de temperatura entre a hidrólise e a fermentação, inibição das enzimas pelo álcool e dificuldade na recuperação das leveduras. Ainda assim, o SSF tem se mostrado o formato mais vantajoso até o momento em termos de custo/benefício (Seabra, 2008; Galbe e Zacchi, 2010).

Outro formato possível é o *Simultaneous Saccharification and CoFermentation* (SSCF), onde hidrólise da celulose e da hemicelulose, fermentação das hexoses e fermentação das pentoses se dão todas simultaneamente no mesmo reator (mas a produção de enzimas ainda se dá num reator separado), o que permitirá, segundo alguns autores, uma grande economia de tempo e recursos (LYND, 1996 apud Hamelinck et al, 2005). Esta configuração deve ser o foco de desenvolvimento para o médio prazo e depende do desenvolvimento de uma combinação de microrganismos que fermentem a ambos os açúcares (Hamelinck et al, 2005; Seabra, 2008).

Segundo Hamelinck et al (2005), o final da evolução desses processos deve ser o BioProcesso Consolidado (CBP - *Consolidated BioProcessing*), onde as 4 transformações biológicas (produção de enzimas, hidrólise, fermentação de hexoses e fermentação de pentoses) ocorrerão todas em um único reator, combinado com um pré-tratamento provavelmente de Termo-Hidrólise (LHW). O grande desafio no

desenvolvimento desse processo é encontrar a sinergia ideal entre enzimas e microrganismos.

Porém, ainda não existe consenso sobre qual seria o melhor caminho para a redução dos custos de produção do etanol de hidrólise. Enquanto alguns pesquisadores acreditam que a chave para isto esteja na redução do número de etapas do processo, outros sugerem que o melhor seria buscar otimização dos reatores separadamente, por conta da diferença de condições ótimas de cada etapa e também por permitir um melhor controle de processo (Hamelinck et al., 2005). Segundo Albarelli (2013):

A SHF é uma das configurações mais extensivamente testadas em laboratório e em escala piloto e, possivelmente, o processo mais maduro para a transformação de materiais lignocelulósicos em etanol (SUPING et al., 2009). Quando executada, a fermentação das pentoses é realizada em uma unidade independente. A tendência atual caminha para a integração do processo de hidrólise e fermentação, combinando a hidrólise da celulose e a fermentação do açúcar em uma só etapa. Esta configuração é chamada de hidrólise e fermentação simultâneas (ou SSF). As principais vantagens do processo simultâneo é a maior produção de etanol e menor quantidade de enzima necessária. Apesar dos ganhos, algumas dificuldades ainda precisam ser superadas como a diferença entre a temperatura ótima para hidrólise e para fermentação (Albarelli, 2013, p. 33).

Todas essas rotas e configurações diferentes para produção de E2G em desenvolvimento, com suas incertezas, vantagens e desvantagens, são somente uma parte do conjunto de atores não-humanos ou actantes que formam a rede em torno do etanol celulósico. Esses atores não-humanos, fundamentais para o sucesso do etanol celulósico são, em nossa perspectiva, actantes, ou seja, elementos não-humanos da rede em torno do E2G que ainda não foram estabilizados, não possuem uma figuração bem definida e em torno dos quais se desenrolam diversos esforços e disputas pelo seu desenvolvimento e controle. Esses elementos atuam enquanto importantes atores na medida em que seu entendimento, comportamento e controle podem inviabilizar ou alavancar um projeto como o etanol de segunda geração. São elementos e tecnologias ainda em aberto que definirão o futuro do etanol no Brasil e no mundo.

Para a maior parte dos autores, os principais gargalos ou fatores de maior importância para o desenvolvimento e aumento da eficiência das tecnologias de segunda geração são (Seabra, 2008; Rosa e Garcia, 2009; Galbe e Zacchi, 2010; Silva, 2013):

- disponibilidade de matérias-primas abundantes e baratas.
- desenvolvimento de enzimas eficientes e de baixo custo para o processo de hidrólise.
- desenvolvimento de micro-organismos robustos, resistentes a inibidores e que fermentem ambos os açúcares (hexoses e pentoses)
- aumento na integração de processo para reduzir o número de etapas e demanda energética

O Brasil sai na vantagem em relação a outros países por já possuir uma matéria-prima barata, resistente e produtiva (muitas variedades de cana-de-açúcar), enquanto os Estados Unidos utilizam uma fonte muito menos produtiva que a cana (o milho) e a maior parte dos países da Europa ainda buscam um candidato para a produção do etanol (Nyko et al, 2010).

Porém, ainda há muito pela frente para o aperfeiçoamento e escolha das tecnologias envolvidas na hidrólise e fermentação do etanol celulósico. Se no passado apostava-se na rota por ácido diluído para a hidrólise da biomassa, como foi o caso da pioneira Dedini (Silva, 2013), hoje em dia a tendência é em se investir na rota enzimática para a hidrólise, como é no caso utilizado pelo CTC. Ainda há muitas incertezas relacionadas às enzimas utilizadas para a hidrólise, os organismos utilizados para a fermentação, assim como também a configuração a ser adotada. Assim, muitas ainda são as traduções possíveis, o que nos permite enxergar a caixa-preta do etanol celulósico ainda aberta e visualizar como essa rede vem associando os atores humanos (como os programas e instituições envolvidas no apoio e pesquisa do assunto) e não-humanos.

O fator que mais pesa atualmente sobre a viabilidade das tecnologias de segunda geração ainda é o elevado custo das enzimas, necessárias para hidrólise do material na rota bioquímica, que ainda não são produzidas no Brasil e necessitam ser importadas. Isso nos leva a crer que o barateamento das enzimas e o desenvolvimento de espécies nacionais estão entre os fatores mais importantes para a rede do etanol celulósico no

Brasil. Além das leveduras, microrganismos capazes de fermentar as pentoses resultantes da hemicelulose também são essenciais à essa rede (Silva, 2013; Felipe & Rossel, 2010; Seabra, 2008).

Uma recente pesquisa a partir de bancos de dados de patentes internacionais demonstra que a principal rota de conversão pesquisada mundo a fora é mesmo a hidrólise enzimática (Murakami, 2015). Porém, o mesmo estudo aponta que ainda há enormes incertezas em relação a essa rota e que o processo de produção de biocombustíveis de segunda geração ainda está em sua infância.

No estudo, foram coletadas e organizadas 304 patentes depositadas entre 1975 e 2013 na base de dados *Derwent Innovations Index* relacionadas ao tema ‘hidrólise enzimática para produção de bioetanol lignocelulósico’ na tentativa de compreender três dimensões dessas patentes: 1) em que direção os agentes públicos e privados estão focalizando seus esforços em termos de métodos/técnicas de pesquisa; 2) em quais micro-organismos esses agentes têm apostado suas expectativas e; 3) em quais enzimas tem havido crescente interesse comercial (Murakami, 2015).

Em relação à primeira dimensão, a pesquisa aponta que houve uma mudança de direção nas últimas décadas, enquanto nas décadas 1970 e 1980 as pesquisas basearam-se principalmente na definição de meios de cultura dos micro-organismos envolvidos no processo de hidrólise, nas décadas subsequentes as pesquisas voltaram-se para técnicas biotecnológicas como sequenciamento e modificação genética desses micro-organismos (Murakami, 2015).

No que se refere aos micro-organismos, a pesquisa encontrou 90 gêneros distintos, sendo os gêneros *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Bacillus*, *Penicillium* e *Clostridium* os mais frequentemente utilizados. Quanto às principais enzimas pesquisadas, o estudo encontrou 33 tipos diferentes, sendo que as de maior interesse estão o grupo das celulasas (endoglucanase, exoglucanase e beta-glucosidase), seguido pelo grupo das hemicelulasas, mais especificamente a enzima endo-beta-1,4-xilanase. Os resultados também indicam que não parece haver um direcionamento de micro-organismos e enzimas a materiais lignocelulósicos específicos, sendo as pesquisas voltadas à hidrólise desses materiais em geral (Murakami, 2015).

O estudo ainda traz um importante apontamento no que se refere ao domínio dessas patentes. Segundo Murakami (2015), poucas grandes organizações internacionais dominam a maior parte das patentes depositadas, como a dinamarquesa Novozymes, as americanas Genencor, Danisco e Codexis, a canadense Iogen e o centro de pesquisa

francês IFP Energies Nouvelles. Juntas, essas organizações representam mais de 40% do total das patentes depositadas nessa amostra. Ainda, processos de fusões e aquisições têm se mostrado frequentes nesse ramo, o que reforça essa dinâmica.

No que se refere ao Brasil, apenas um depósito de patente foi encontrado nessa pesquisa, no caso, uma patente da Petrobrás de 2009. Nenhuma universidade ou instituição de pesquisa brasileira foi encontrada. Porém, a autora ressalta que ainda há oportunidades para o Brasil se inserir nessa dinâmica de pesquisa, posto que ela ainda se encontra em um estágio pré-paradigmático, uma vez que os processos de busca ainda estão em fase exploratória por mais que tenha havido um fortalecimento das pesquisas em determinados micro-organismos/enzimas. E ainda, que a infraestrutura e expertise no processo de produção de bioetanol de 1ª geração se mostra favorável ao desenvolvimento de 2ª geração e que o país apresenta várias instituições e universidades que podem realizar pesquisas que vinculem micro-organismos e enzimas a matérias-primas de interesse nacional. A autora também aponta que os principais entraves atualmente à produção de etanol celulósico ainda são os processos de pré-tratamento e hidrólise, os quais ainda não possuem tecnologias confiáveis de baixo-custo (Murakami, 2015).

Não são somente as enzimas que representam entraves nesse processo. Apesar de simples em teoria, o pré-tratamento é uma etapa fundamental do processo e provavelmente a mais problemática até agora (Oliveira Filho, 2017). O maior problema relacionado ao pré-tratamento refere-se à diversidade de matérias-primas utilizadas nas nascentes usinas de E2G (somente o Brasil utiliza cana-de-açúcar). Esses diferentes materiais acarretam diferentes processos de pré-tratamento e na maior parte das vezes é a própria empresa que desenvolve ou aperfeiçoa esse processo. Isso tem causado diversos atrasos, paralisações, adiamentos e baixíssima produtividade nas usinas de E2G no Brasil (como veremos mais a frente), o que dá uma ideia da importância desses atores não-humanos e as possibilidades abertas à figuração desses actantes.

A matéria-prima é um dos principais fatores quanto à viabilidade do E2G, e nesse quesito o Brasil desponta na liderança pois a cana-de-açúcar é extremamente produtiva quando comparada a outros materiais utilizados em outros países, como o milho ou a beterraba. Além do mais, a situação que se visualiza futuramente é a quebra do paradigma de cana-de-açúcar para produção de alimentos tendo energia (álcool, energia elétrica) como subprodutos, e a migração para o conceito de cana-energia, que seria o desenvolvimento de variedades de cana visando a maximização da energia

primária e o processamento desta matéria-prima de forma otimizada para produção de energias secundárias úteis, como combustíveis para transporte e energia elétrica¹⁵.

A cana-energia (ou “supercana”) é um conjunto de variedades de cana em desenvolvimento com um grau mais elevado de energia primária por tonelada ou por hectare comparado às variedades comuns. Seus componentes (açúcares e fibras) são mais adequados para o processamento de tecnologias de segunda geração devido a maiores concentrações de fibra, o que representa mais celulose e hemicelulose para produção de E2G e lignina para uso nas caldeiras (Leal, 2010b).

Uma variedade de cana-energia em desenvolvimento pelo Cento de Cana do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) que pode chegar a mais de 6 metros de altura (frente os cerca de 2,2m das espécies tradicionais), possibilitando a produção de até 300 toneladas por hectare (em comparação, as espécies tradicionais produzem de 70 a 80 toneladas por hectare). Além disso, ela deverá poder ser colhida a cada sete ou oito meses ao invés de a cada 12.

Essa variedade produz menos sacarose que as espécies tradicionais (cerca de 40% menos), mas possui muito mais fibras (aproximadamente 80% a mais por tonelada do colmo), não sendo, portanto, ideal para a produção de açúcar, mas sim para a produção de energia elétrica e etanol de segunda geração. Ela foi pensada para as regiões áridas, com déficit hídrico, podendo superar assim as adversidades e aumentar a produção por área plantada. Porém, seu uso para a produção de etanol celulósico no futuro é promissor, e deve dividir em breve o espaço com a cana-de-açúcar tradicional nas usinas, como aponta a projeção feita pelo BNDES (Milanez, Nyko, Valente et al, 2015). A cana-energia é, portanto, mais um elemento da rede do etanol celulósico, que deve influenciar o desenvolvimento de processos e a configuração das usinas no futuro.

Porém, o desenvolvimento das variedades de cana-energia depende ainda de muitos fatores que são variáveis ou ainda não estão definidos. Por exemplo, se for mais rentável produzir E2G, é mais adequado uma variedade com maior concentração de celulose. Já se a produção de energia elétrica for mais vantajosa, uma variedade com mais lignina seria mais indicado. Muito depende do uso final, do processo e da tecnologia que será adotada na usina (Leal, 2010b). Levando-se em consideração que esses cenários ainda não estão claros, há muito espaço para mudanças e negociações em relação a esse actante fundamental.

¹⁵ - NovaCana, “Política pública para o desenvolvimento sustentado do etanol”. disponível em: <https://www.novacana.com/sustentabilidade/politica-publica-para-o-desenvolvimento-sustentado-etanol>.

Outro elemento essencial da rede do etanol celulósico é a palha. Tradicionalmente queimada no processo de colheita manual ou deixada para se decompor no campo com a colheita mecanizada, a palha contém 1/3 da energia total da cana, numa proporção semelhante ao bagaço (Leal, 2010b; Magalhães & Braunbeck, 2010). A palha possui diversos usos e benefícios, ao mesmo tempo em que o seu aproveitamento apresenta diversas dificuldades. É comprovado que deixar uma parte da palha no campo após a colheita traz diversos benefícios à plantação, como proteção contra a erosão, retenção de umidade do solo, diminuição da flutuação térmica, reciclo de nutrientes e efeito herbicida. Essa proporção é calculada em diversos estudos em cerca de 50%, o que representa um excedente de pelo menos metade dessa palha para outros usos (Leal, 2010b).

Ao mesmo tempo, a palha serve de insumo tanto para produção de etanol de segunda geração quanto para produzir eletricidade nas caldeiras de cogeração. Definir qual desses usos é mais vantajoso depende de diversos aspectos da usina e do desenvolvimento das tecnologias de recolhimento da palha. Com isso, chegamos a mais um elo dessa rede, a colhedora mecânica. Sem ela é impossível colher a maior parte do palhiço sem queimá-lo. Nesse processo, metade da palha é geralmente deixada no solo - como adubo natural - o que incrementa a eficiência da produção¹⁶. Apesar de diversos estudos a respeito do colhimento de palha estarem sendo conduzidos e ganhando cada vez mais atenção das usinas, recolher a palha ainda é muito custoso, o que faz com que o seu uso seja desconsiderado em quase todos os casos (com exceções importantes como a GranBio). Porém, a palha deve se tornar cada vez mais um ator essencial na produção de E2G e bioeletricidade com o desenvolvimento dessas tecnologias (Cortez et al, 2010; Magalhães & Braunbeck, 2010; CGEE, 2009), o que leva à controvérsia que já exploramos na seção 4.3.

Atualmente, a disponibilidade de bagaço e palha de uma usina está atrelada à eficiência energética da usina e situa-se entre 7% e 10% do bagaço total. Com a otimização do sistema de produção de vapor e energia, é possível atingir um excedente de até 50% do bagaço total com alguns ajustes de pressão do sistema (CGEE, 2009). A produção de eletricidade através das caldeiras a vapor é, portanto, também outro

¹⁶ - NovaCana, “Recolhimento e armazenamento do palhiço (ou palha) para 2ª geração do etanol”, disponível em: <<http://www.novacana.com/etanol/recolhimento-armazenamento-palhico-segunda-geracao>>, acesso em: 15/02/2016.

elemento essencial dessa rede, sem o qual não é possível aproveitar ao máximo o bagaço para a produção de etanol de segunda geração.

Podemos citar também as pentoses (açúcares) resultantes da hidrólise da hemicelulose, que representam quase metade do potencial produtivo do caldo hidrolisado, mas que são de difícil fermentação, exigindo organismos muito específicos que ainda estão em desenvolvimento. São também, portanto, importantes actantes a serem traduzidos e incorporados a essa rede, em processos que estão em vias de desenvolvimento ou aperfeiçoamento, inclusive pelas usinas brasileiras, que exploraremos ainda nessa seção.

Todos esses elementos técnicos ou não-humanos - a cana-de-açúcar (e a cana-energia), a palha, a colhedora, as caldeiras, as enzimas, as pentoses, as tecnologias que compõem os processos de produção, etc - formam o que na perspectiva da teoria do ator-rede é chamado de *tecnograma* (Latour, 2000). O tecnograma refere-se, portanto, à parte técnica de uma rede. Porém, nenhum elemento do tecnograma ganha existência ou se sustenta sem sua respectiva contraparte no sociograma. Ou seja, para cada equipamento ou tecnologia utilizada em uma rede temos em contrapartida uma empresa, um grupo ou instituição que desenvolve ou fornece esses elementos e é, portanto, parte diretamente interessada e influente nessa rede. Portanto, qualquer movimento ou translação de uma empresa em relação a essas tecnologias, como lançar uma nova variedade no mercado ou produzir um processo novo de hidrólise ou fermentação é um tipo híbrido de agência, que envolve a atuação de humanos associados a não-humanos (Latour, 2001).

O desenvolvimento de espécies de cana-energia pode, por exemplo, trazer diversos benefícios à produção de E2G. Mas como citamos, mesmo esse desenvolvimento não possui uma só direção, podendo ser enfatizadas diversas características diferentes, que trariam diferentes vantagens, dependendo de vários fatores e dos objetivos almejados.

A palha é outro exemplo de indefinição pois, além das diversas dificuldades e soluções diferentes que podem ser implementadas, atuais e futuras, ainda disputa o seu uso final com a produção de energia elétrica.

Essas questões e caminhos em aberto mostram como o etanol de segunda geração ainda é uma caixa-preta aberta. É fundamental, portanto, acompanhar as controvérsias e as disputas em torno desses actantes se quisermos entender quem são os

atores envolvidos na rede do etanol celulósico e quais são suas posições nessas disputas, seus graus de influência, suas perspectivas e interesses. Como queremos demonstrar, o etanol celulósico está ligado não só a diversas políticas e programas, mas interfere de maneira direta na política energética e na sua dinâmica. Actantes como a palha e o bagaço disputam com outros atores-rede o futuro da cana-de-açúcar e da matriz energética.

5.2 – Políticas e programas da rede do E2G

Nessa seção, identificamos quais são os principais programas de governo no período de nossa análise (2010-2017) que têm como um dos seus objetivos principais contribuir com a pesquisa, desenvolvimento ou produção de E2G no Brasil, fazendo parte, portanto, dessa rede. Também entrarão nessa seção programas voltados para o setor sucroenergético como um todo, mas que contribuem de forma indireta com o E2G na medida em que financiam ou incentivam as atividades do setor de forma geral. Com isso, esperamos poder compreender como funcionam as políticas voltadas atualmente para o etanol e quais são os principais atores e alianças na dimensão das políticas públicas.

5.2.1 – Os programas ministeriais e os Fundos Setoriais

Nessa subseção, exploramos as políticas e programas ministeriais que interferem de alguma forma nas atividades do setor sucroenergético ou contribuíram com as pesquisas, desenvolvimento ou produção de E2G no Brasil na forma de ações diretas ou financiamentos no período analisado. Entre eles, podemos citar os Planos Plurianuais do Ministério do Planejamento (MP), que interferem no orçamento dos demais ministérios; o Plano Nacional de Energia (PNA), do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) e a Estratégia Nacional para Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) do então Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)¹⁷ e os Fundos Setoriais de

¹⁷ - O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) foi fundido com o Ministério de Comunicações em maio de 2016 com a reforma ministerial executada pelo então presidente em exercício Michel Temer (PSDB) e passou a se chamar Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e Comunicações (MCTIC).

Ciência e Tecnologia (CTs), que são reservas tributárias voltadas ao incentivo da P&D de diversos setores atualmente.

O Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) apoiou o desenvolvimento do etanol celulósico através do Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 (PNA), que tinha como um dos seus objetivos “organizar e desenvolver propostas de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para garantir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia” (MAPA, 2006). Através do PNA, foi criada a Embrapa Agroenergia em maio de 2006. Atualmente, a Embrapa Agroenergia pesquisa, entre outras coisas, matérias-primas para a produção de etanol de segunda geração¹⁸ e desenvolve uma enzima nacional capaz de fermentar as pentoses em parceria com o CTC¹⁹.

É importante também citarmos o já finalizado Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI 2007-2010), plano associado ao PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) dedicado à área de ciência e tecnologia que tinha como objetivo principal estimular as pesquisas e a competitividade nas empresas, em articulação com os projetos governamentais. O plano atribuía prioridade ao setor agroenergético e aos biocombustíveis em seu eixo “Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Áreas Estratégicas”, e previa em sua linha de ação relacionada aos biocombustíveis o apoio aos processos de hidrólise e de fermentação das pentoses. O plano ainda previa a criação de um centro referência em tecnologias do bioetanol, fato que se materializou com a construção do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) (MCT, 2007²⁰).

O PACTI foi sucedido pela Estratégia Nacional para Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI 2012 -2015) que tem como objetivo principal ampliar a participação empresarial nos esforços tecnológicos do País, com vistas a aumentar a competitividade nos mercados nacional e internacional (MCTI, 2011). Dentro do que chama de “Programas Prioritários para os setores portadores de futuro” encontra-se o Fomento da economia verde, que visa estimular as pesquisas em energia limpa e renovável, biotecnologia, biodiversidade e mudanças climáticas.

¹⁸ - “Embrapa busca matérias-primas para produção de etanol 2G”, APLA, disponível em: <http://www.apla.org.br/embrapa-busca-materias-primas-para-producao-de-etanol-2g>, acesso em: 05/02/2015.

¹⁹ - “Parceria Embrapa e CTC incrementa pesquisas para o etanol celulósico”, Unica, 04/09/2012, disponível em: <http://www.unica.com.br/noticia/32026594920328781316/parceria-embrapa-e-ctc-incrementa-pesquisas-para-o-etanol-celulosico>, acesso em 05/02/2015.

²⁰ - “Plano de Ação em Ciência, Tecnologia & Inovação 2007-2010”, MCT, 2007. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0203/203406.pdf, acesso em: 10/02/2015.

Em seu capítulo que trata da energia renovável, a ENCTI colocava como objetivo principal desenvolver tecnologias para as cadeias produtivas de biocombustíveis e de outras energias renováveis, visando diversificar e garantir a sua participação na matriz energética (MCTI, 2012, p. 77). O etanol celulósico aparecia aí como um elemento de suma importância, visto que é listado logo nas três primeiras estratégias associadas ao desenvolvimento da energia renovável:

- 1) pesquisa e inovação voltadas para a produção do etanol de nova geração;
- 2) consolidação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) como centro de excelência na pesquisa desenvolvimento e inovação em etanol de 2ª geração;
- 3) implantação de plataforma de pesquisa para gaseificação da biomassa;
- 4) desenvolvimento de novas tecnologias para a diversificação de fontes de matéria prima na produção de biodiesel;
- 5) desenvolvimento tecnológico para aproveitamento energético e valorização dos resíduos da cadeia agropecuária e para a eficiência dos processos de produção sustentável de carvão vegetal;
- 6) desenvolvimento da cadeia de energia fotovoltaica até o grau solar e implantação de plataforma de pesquisa com usina heliotérmica de 1 MW;
- 7) apoio à inovação tecnológica industrial em partes, peças e sistemas em hidroeletricidade, energia solar, eólica e de biomassa;
- 8) desenvolvimento de tecnologias voltadas ao aumento da segurança energética, à inovação em eficiência energética, e associadas à transmissão de energia elétrica e redes inteligentes de energia (smart grid).

Os recursos que sustentavam o programa provinham de recursos federais, de empresas estatais federais e das fundações estaduais de amparo à pesquisa (FAPs), totalizando R\$74,6 bilhões entre 2012 e 2015, sendo R\$29,2 bilhões do MCTI, R\$21,6 bilhões de outros ministérios, R\$13,6 bilhões de empresas estatais federais (BNDES, Petrobras e Eletrobras) e R\$10,2 bilhões de recursos estaduais operacionalizados pelas FAPs. Porém, o programa não especificava o total a ser investido em cada setor.

Podemos, para nossa análise, considerar o ENCTI como parte importante da rede sociotécnica formada em torno do etanol celulósico, devido a grande quantidade de recursos destinados ao programa e a prioridade atribuída ao etanol de segunda geração, além do fato do CTBE (Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol), o

maior laboratório nacional voltado às pesquisas sobre o etanol, ser parte integrante do programa.

É importante também citar os Fundos Setoriais, criados em 1998 a partir do Decreto nº 2.851, de 30/11/1998, que dispunha sobre programas de amparo à pesquisa científica e tecnológica aplicados à indústria do petróleo e visava garantir um fundo de reserva tributária para o financiamento de pesquisas e inovações no setor petrolífero. O primeiro a ser lançado foi CT-Petro em 1999, porém, esses setores foram seguidamente ampliados e atualmente são 16. Os recursos dos Fundos Setoriais são atrelados ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e são provenientes das seguintes fontes: contribuição incidente sobre o resultado da exploração de recursos naturais pertencentes à União; parcela do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e; Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (Cide) incidente sobre os valores de uso e aquisição de conhecimento e tecnologias do exterior (Dias, 2012).

Entretanto, não existe um fundo específico para os biocombustíveis. É antiga a reivindicação do setor sucroalcooleiro pela criação de um CT específico para aos biocombustíveis. Segundo o CGEE (2009), a indústria sucroalcooleira movimentava cerca de 1,5% do PIB brasileiro, o que justificaria criar um fundo específico para o etanol. Segundo o proposto pelo CGEE, os recursos para o fundo poderiam ser vir de contribuições da venda do próprio etanol, na proporção de 0,5% sobre a receita líquida da venda do álcool e 0,125% à gasolina C, dado que esta contém de 20% a 25% de álcool anidro. Como se vê na proposta, os recursos poderiam ser significativos mesmo com essa pequena parcela de incidência sobre as vendas:

Uma estimativa preliminar indica que para um consumo no país de 23 bilhões de litros de gasolina C, a um preço médio na bomba de R\$ 2,50/l seria possível arrecadar cerca de R\$ 72 milhões. Já para um consumo de 15 bilhões de litros de bioetanol hidratado a um preço médio de R\$ 1,50/l seria possível arrecadar cerca de R\$ 113 milhões, totalizando aproximadamente R\$ 185 milhões. Os recursos deste fundo deveriam ser aplicados parte em pesquisa aplicada, com retorno garantido, e outra de mais longo prazo, numa proporção de 80/20 (CGEE, 2009, p. 512).

Segundo o CGEE:

Isto acaba gerando um prejuízo importante para esta área por dois motivos: primeiro, porque impede que aconteça uma melhoria tecnológica no médio e longo prazos com

claros prejuízos à competitividade, e segundo, porque existe um reconhecido potencial no Brasil, mas que precisa urgentemente de um apoio mais dedicado das agências de financiamento à pesquisa (CGEE, 2009, p. 511).

A maior parte dos recursos destinados aos biocombustíveis provém do CT-Energia²¹. Em proporções menores, também do CT-Agronegócio, do CT-Petróleo, CT-Transporte, CT-Biotecnologia, CT-Infra e CT_VerdeAmarelo (CGEE, 2009; Maia, 2010). Com isso, é muito confusa a atribuição de recursos aos setores de biocombustíveis, que por não terem um fundo exclusivo dependem todo ano de negociações e atribuições de outros fundos.

5.2.2 - O BIOEN (FAPESP)

Um programa que merece destaque no nível estadual (SP), é o BIOEN da FAPESP (Programa FAPESP de pesquisa em Bioenergia). Criado em 2008, o programa tem como objetivos principais desenvolver pesquisa acadêmica básica e aplicada em bioenergia, aumentar a produtividade do etanol, minimizar o uso de energia, água e seus impactos e também contribuir para a articulação de pesquisa das universidades, centros de pesquisa e as empresas (FAPESP, 2010; Silva, 2013). O programa conta com cinco grandes focos:

1. Pesquisa em Biomassa para Bioenergia (com foco em cana-de-açúcar);
2. Pesquisa em tecnologias e processos para produção de etanol (principalmente de segunda geração);
3. Divisão de Biorefinarias e Alcoolquímica com foco na integração;
4. Divisão de Aplicações do Etanol para Motores Automotivos;
5. Pesquisas sobre impactos sócio-econômicos, ambientais, e uso da terra.

A agenda de pesquisa do BIOEN no que se refere ao segundo item, “pesquisas em tecnologias e processos para a produção de etanol” inclui:

²¹ “CNPq investe R\$ 22 milhões em pesquisas sobre biocombustíveis”, CNPq, 2007. Disponível em: <<http://www.memoria.cnpq.br/saladeimprensa/noticias/2007/1022.htm>>, acesso em 12/02/2015.

- Identificação e melhoras os gargalos na cadeia de produção do etanol (incluindo hidrólise);
- Melhoria de processos de fermentação;
- Otimização da eficiência energética e reciclagem de água;
- Melhoramento do processo de destilação;
- Desenvolvimento de tecnologias de etanol celulósico.

Referente ao último item, a FAPESP (2010) ainda especifica:

- Caracterização e desenvolvimento de processos físicos e químicos de pré-tratamento para hidrólise;
- Desenvolvimento de catalisadores para sacarificação;
- Desenvolvimento de celulasas e processos de hidrólise de alta performance;
- Redução de impacto de inibidores da fermentação;
- Desenvolvimento de microrganismos capazes de fermentar hexoses e pentoses.

O projeto BIOEN foi formulado em parceria com o CNPq e com a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e pretende investir entre US\$150 milhões e US\$200 milhões, cuja a maior parte dos recursos é destinado às pesquisa para a segunda geração (Maia, 2010). Até o momento dessa pesquisa o programa já havia auxiliado mais de 770 projetos²² entre auxílio à pesquisa e bolsas dentro e fora do país.

5.2.3 – O PAISS (BNDES-Finep)

A partir do nosso levantamento, identificamos que o programa de financiamento à pesquisa e inovação de tecnologias relacionadas ao etanol e ao E2G que mais se destacou durante o período de nossa análise foi o “Plano BNDES-Finep de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico” ou PAISS. O programa foi criado como parte do PACTI e era gerido conjuntamente pelo BNDES e a Finep, que

²² - FAPESP, Pesquisa em Bioenergia (BIOEN), disponível em: <
<http://www.bv.fapesp.br/pt/16/pesquisa-em-bioenergia-bioen/>>, acesso em: 15/01/2018.

disponibilizariam à princípio R\$1 bilhão entre financiamento e subvenção de pesquisas e projetos de inovação para o setor sucroenergético e sucroquímico entre 2011 e 2014, com recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) pela FINEP e do Fundo Tecnológico (Funtec) pelo BNDES²³. Devido ao sucesso do programa e o alto número de propostas recebidas (16 aprovados), esse valor foi atualizado para R\$ 3,3 bilhões, dos quais 2,4 bilhões foram aprovados (Soares, 2016).

O programa foi resultado dos diagnósticos realizados pela equipe de analistas do BNDES e da FINEP, ao longo dos anos 2000. Resumidamente, estes identificaram que, de forma geral, havia uma baixa coordenação das agências públicas nas atividades de fomento a P&D dos programas de apoio destinados ao setor sucroenergético, os projetos apresentavam pequeno volume de recursos alocados, além do que o Brasil estava muito atrasado em relação a fronteira tecnológica (Nyko et al. 2010; Nyko et al. 2013; Oliveira Filho, 2017).

Entre seus objetivos principais estava criar uma melhor coordenação em relação à entrada de pedidos de financiamento das duas instituições e apoiar o fomento a projetos relacionadas a produção e comercialização de novas tecnologias de processamento da biomassa da cana-de-açúcar. O programa foi dividido em três linhas: Bioetanol de 2ª geração; Novos produtos da cana-de-açúcar e; Gaseificação: Tecnologias, equipamentos, processos e catalisadores. A primeira linha ainda contemplava:

- Otimização de processos de pré-tratamento de biomassa de cana para hidrólise;
- Desenvolvimento dos processos de produção de enzimas e/ou de processos de hidrólise de material ligno-celulósico oriundo da biomassa da cana-de-açúcar;
- Desenvolvimento de microrganismos e/ou de processos de fermentação de pentoses;
- Integração e escalonamento de processos para produção de etanol celulósico.
- Desenvolvimento de tecnologias de coleta e transporte de palha de cana-de-açúcar

A área que recebeu maior número de iniciativas foi a linha 2 (novos produtos a partir da cana-de-açúcar), com 22 projetos totalizando um investimento de R\$ 1,605

²³ - “Plano Conjunto BNDES-Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico – PAISS”, disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Plano_inova_empresa/paiss/index.html, acesso em: 02/12/2015.

bilhões. Os projetos referentes a etanol de segunda geração (Linha 1) geraram um investimento na ordem de R\$ 1,446 bilhões (Oliveira Filho, 2017).

Após o sucesso do primeiro PAISS foi lançado em 2014 o PAISS Agrícola ou PAISS 2 já como parte das iniciativas previstas no ENCTI, focado no incentivo à produtividade agrícola do setor sucroenergético como desenvolvimento de novas variedades, mecanização agrícola, plantio e colheita, desenvolvimento de máquinas e sistemas integrados, etc. Para isso, foi reservado um total de R\$1,48 bilhão somando os recursos do BNDES e da Finep entre financiamentos (R\$1,4 bilhão) e subvenção econômica (R\$ 80 milhões)²⁴ a serem disponibilizados até 2018. Suas linhas de ação contemplam:

- Novas variedades
- Máquinas e implementos para plantio e/ou colheita
- Sistemas integrados de manejo, planejamento e controle da produção;
- Técnicas mais ágeis e eficientes de propagação de mudas
- Adaptação de sistemas industriais para culturas energéticas compatíveis

Podemos considerar os programas PAISS do BNDES em parceria com a FINEP como uns dos mediadores mais importantes da rede do etanol celulósico no Brasil, sendo seu principal financiador. Somados, os programas PAISS 1 e 2 foram responsáveis pela injeção de mais de R\$4,7 bilhões no setor entre 2011 e 2018. Esses recursos foram fundamentais para a construção das plantas e os projetos de segunda geração da Granbio, da Raízen e do CTC, que juntas utilizaram mais de R\$1,7 bilhão entre financiamento, participação acionária e subvenções. O programa ainda chegou a aprovar a implantação de 8 plantas industriais dedicadas ao E2G, mas apenas as três citadas se concretizaram (Oliveira Filho, 2017).

A Odebrecht Agroindustrial e a Petrobrás também receberam financiamento do programa para a construção de usinas de segunda geração. Porém, ambas desistiram de seus programas devido às dificuldades que essas empresas vêm passando e o risco dessas pesquisas.

²⁴ - BNDES, PAISS Agrícola, disponível em: <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/plano-inova-empresa/paiss-agricola>, acesso em: 04/01/2016.

5.2.4 – O Renovabio

Na fase final dessa pesquisa, saiu o projeto de lei de um novo programa governamental para os biocombustíveis, a Política Nacional de Biocombustíveis ou Renovabio. Em discussão desde meados de 2016, a proposta do programa foi lançada pelo MME dia 13/12/2016, em um encontro que envolveu o presidente em exercício Michel Temer, os ministros do MME, do MAPA e diversos representantes do setor sucroenergético (MME, 2017).

Os objetivos principais do programa são (PLC 160/2017): 1) promover o aumento de produção dos biocombustíveis (com destaque para o etanol e o biodiesel); 2) garantir mercado no longo prazo, assim como garantir previsibilidade da matriz energética; 3) diminuir as emissões de GEEs para cumprir metas estabelecidas na Contribuição Nacionalmente Determinada (CND) proposta na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas - COP-21 (ONU, 2015), no caso, diminuir as emissões de GEEs em 43% em relação à 2005. Para isso, o MME (2016) sugere manter a produção de bioenergia equivalente a pelo menos 18% de toda a energia que o país consome e; garantir a participação de 45% de energias renováveis na matriz energética até 2030. Dessa forma, espera-se que a produção de etanol se expanda dos atuais 28 bilhões de litros para 54 bilhões até 2030.

Para atingir esses objetivos, o programa pretende utilizar os seguintes mecanismos: gerar créditos de descarbonização para os produtores de biocombustíveis certificados que contribuirão positivamente com a redução de GEEs, os chamados CBios; certificação de produção eficiente de biocombustíveis através da Nota de Eficiência Energético-Ambiental emitida por firma inspetora; obrigação das distribuidoras de combustível de comprar esses créditos de descarbonização de acordo com a sua produção de combustíveis fósseis; assim como metas e incentivos fiscais e financeiros (PLC 160/2017).

O programa funcionaria da seguinte forma: as usinas receberiam notas de 0 a 10 de acordo com critérios que ainda não foram estabelecidos, que devem levar em conta a quantidade de carbono emitido em sua produção e o ciclo de vida dos combustíveis, desde a matéria-prima até o seu uso. Quanto menores forem as emissões do produtor primário, maiores as notas (MME, 2016). Assim, se uma usina nota 10 produzir, por exemplo, 100 mil m³ de etanol, ela ganharia 1 milhão (100.000 x 10) de Créditos de

Descarbonização (CBios) ,emitidos por uma instituição bancária ou financeira a serem negociados em um mercado de créditos que deve ser criado.

Em contrapartida, as distribuidoras de combustíveis terão mandatos de redução de carbono dos combustíveis comercializados por elas como diesel, gasolina, através da compra desses créditos. O valor do CBios seria definido pela CNPE de acordo com a quantidade total de créditos disponíveis e a produção de combustíveis fósseis prevista para aquele ano. Ainda não está claro a forma como esses créditos devem ser obtidos pelas distribuidoras, mas atualmente a proposta propõe que se em um ano sejam gerados, por exemplo, 10 milhões de CBios, esse total seja dividido entre as distribuidoras de acordo com a sua participação no mercado (e não de acordo com a produção absoluta) (MME, 2016). Por exemplo, se a Petrobrás for responsável por 50% da distribuição, teria que comprar metade desses créditos (5 milhões). Se no ano seguinte a produção aumentar, mas ainda assim a Petrobrás for responsável por 50% do mercado, ainda teria que comprar metade dos créditos (e o que varia é o total de créditos, de acordo com a produção das usinas)

Dependendo dos critérios adotados para classificar as usinas e o preço desses créditos, o etanol de segunda geração pode ser muito beneficiado. Por ser muito mais sustentável e emitir muito menos GEEs, incentivaria as usinas a investir em sua produção em detrimento ao de primeira geração. Porém, a proposta tem muitos pontos controversos e indefinições.

É possível imaginar diversos problemas em relação às garantias de mercado com a proposta em seu estado atual. Se a CNPE que vai definir o valor dos créditos de acordo com a produção de biocombustíveis no ano anterior e obrigar as distribuidoras a comprarem esses créditos em sua totalidade (e não de acordo com a produção absoluta), nada impede que a CNPE ajuste o preço dos CBios de acordo com a sua disponibilidade, alterando o preço de cada unidade de crédito de forma que sempre totalize o mesmo montante para as distribuidoras. Dessa forma, de nada adiantaria as usinas aumentarem a sua produção, já que quanto maior o número de créditos produzidos, menor poderia ser o seu valor, não trazendo necessariamente maior retorno ao setor sucroenergético como um todo, talvez apenas estimulando a concorrência entre as usinas.

Além disso, é possível que se crie com isso uma disfunção no setor de combustíveis dependendo de como o valor das CBios serão fixados e negociados, tornando as distribuidoras reféns desses créditos o que pode encarecer os combustíveis

de duas formas: no seu preço final repassado ao consumidor ou ainda por conta de sua falta no mercado, caso as distribuidoras tenham que reter o produto até adquirir mais créditos.

Em abril de 2017, a Petrobrás divulgou uma nota (Petrobrás, 2017) com diversas críticas e apontamentos interessantes sobre o programa. Segundo a empresa, há diversas maneiras de o Brasil cumprir o acordo do CND com menores impactos ao setor de combustíveis tradicionais, como regulações e modelações nos setores florestal, agropecuário, industrial e de transportes.

Segundo a Petrobrás (2017), a proposta ignora diversos fatores que devem contribuir com a diminuição das emissões de GEEs sem a necessidade de políticas custosas por parte do governo ou que prejudiquem o setor de combustíveis tradicionais, como a diminuição do ritmo das vendas de automóveis no Brasil verificada desde 2012, aumento da eficiência dos motores (seguindo a tendência mundial), melhoramento dos serviços coletivos de transporte e a hibridização dos veículos nacionais (automóveis que possuirão tanto um motor elétrico quanto um motor convencional à combustão, utilizados alternadamente ou simultaneamente), previsto pelas montadoras para 2021 em diante, o que por sua natureza implicaria num menor consumo de combustíveis fósseis, especialmente a gasolina.

Ainda, segundo representantes da Associação das Distribuidoras de Combustíveis (Brasilcom), a obrigação de compra de créditos de carbono pelas distribuidoras vai prejudicar especialmente as distribuidoras menores, que possuem menor poder de reestruturação²⁵, o que pode agravar ainda mais a concentração das distribuidoras (como vimos na seção 3.4).

Mesmo tratando-se de uma reação parcial do setor, obviamente defendendo suas próprias atividades como seria de se esperar, a Petrobrás trás apontamentos interessantes, como a dificuldade de se expandir a produção de biodiesel (B10, B15) prevista no programa sem um grande planejamento prévio, devido à dependência atual de sua produção à soja e o seu atrelamento ao mercado internacional, o que pode acarretar grandes alterações sazonais e prejudicar a balança comercial do país no caso das exportações serem afetadas devido a criação de reserva para o biodiesel.

²⁵ - NovaCana, “Frases do painel 1: RenovaBio, em profundidade e no detalhe”. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/eventos/frases-do-painel-1-renovabio-em-profundidade-e-no-detalhe-260917>, acesso em: 27/09/2017.

Do ponto de vista teórico, houve um claro conflito de interesses em relação ao programa em sua fase de formulação, colocando em disputa o setor sucroenergético e o setor de combustíveis tradicionais em conjunto com as distribuidoras sobre a dinâmica do setor de combustíveis como um todo. A criação dos Créditos de Descarbonização (CBios) através do Renovabio equivale à entrada de um novo actante poderoso à essa rede, interferindo de maneira decisiva na dinâmica atual e favorecendo os atores do setor sucroenergético em detrimento do setor de combustíveis tradicionais e as distribuidoras de combustíveis.

Ainda, o setor sucroalcooleiro defendia que o programa entrasse em operação por meio de uma medida provisória (MP) antes de ser votado, ao que a Petrobrás se opunha, enfatizando a necessidade de uma ampla discussão e estudos antes de colocar o programa em operação (Petrobrás, 2017), o que demonstra uma clara disputa entre esses dois atores e a pressa do primeiro em iniciar o programa o quanto antes, já que do jeito que está atenderia perfeitamente os seus interesses. Podemos observar essa disputa em uma publicação da revista NovaCana:

O melhor caminho é que o presidente Michel Temer seja convencido da importância do programa e decida apresentá-lo como uma medida provisória. Se for feito dessa forma, o RenovaBio pode fazer sua estreia no segundo semestre do ano que vem, um semestre que serviria como teste para ajustar o programa para 2019. Se o caminho a ser seguido tiver que ser o projeto de lei, ele pode ser apresentado por um congressista ou pelo poder executivo. Em qualquer uma dessas hipóteses, o trâmite é bem mais lento e a velocidade dele vai depender de um grande esforço do setor de biocombustíveis junto com deputados e senadores para que o projeto pegue uma via expressa (NovaCana, 2017²⁶, itálico nosso).

Segundo o diretor do Departamento de Biocombustíveis do MME, Miguel Ivan Lacerda, se o programa fosse enviado por MP, o RenovaBio começaria a funcionar em 2019. Se enviado por projeto de lei, o início se daria em 2022 ou só em 2025²⁷. Em

²⁶ - Novacana, “Uma revolução chamada RenovaBio: desafios e perspectivas para usinas, distribuidoras e governo”. Disponível em: < <https://www.novacana.com/n/etanol/politica/revolucao-chamada-renovabio-desafios-perspectivas-para-usinas-distribuidoras-governo-080517>>, acesso em: 10/05/2017.

²⁷ NovaCana, “RenovaBio passa por momento decisivo”, 29/06/2017. Disponível em: < https://www.novacana.com/n/etanol/politica/renovabio-momento-decisivo-290617/?kmi=brunolorenzi@gmail.com&utm_source=Etanol&utm_campaign=4f852422ae-

junho de 2017 o CNPE publicou uma resolução (14/2017) para criar um grupo de trabalho (GT) responsável por formular as diretrizes do programa. Porém, a revista NovaCana²⁸ apurou que até junho fora realizada uma série de encontros para alinhar as diretrizes do programa envolvendo, além do MME, a Casa Civil, Ministério da Fazenda; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação; Ministério da Indústria, Serviços e Comércio Exterior, Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; Comissão de Valores Mobiliários e Banco Central.

Alguns dias depois (06/07/2017), o MME publicou a “Proposta de aprimoramento do marco legal do setor elétrico”²⁹ para consulta pública, com as principais diretrizes propostas para o Renovabio, confirmando tudo o que já se especulava a respeito do programa que tratamos no início dessa seção. O documento confirmava a certificação das usinas baseadas em sua eficiência, a emissão de Crédito de Descarbonização pelas usinas e a compra compulsória pelas distribuidoras baseada no volume de combustíveis comercializado, com as cotas definidas pelo CNPE baseada em diversos critérios que são variáveis, como a produção do ano anterior e nível de redução de emissões pretendido para aquele ano, além de outros detalhes como multa de até R\$ 100 milhões para quem descumprisse as metas (previstas na Lei n.9.847, de 26 de outubro de 1999) e pormenores quanto às transações dos créditos de descarbonização. Entretanto, ainda não está claro exatamente como serão definidas as notas das usinas nem uma estimativa do valor desses créditos.

Entretanto, após a empolgação do anúncio, o Renovabio passou por um momento de incertezas. No dia 2 de julho em uma reunião com o setor, Temer disse que daria uma resposta em relação ao programa (se sairia na forma de uma MP ou não) em

[RenovaBio decisivo 2017_06_29&utm_medium=email&utm_term=0_9fda3940f1-4f852422ae-71306113](http://www.novacana.com/n/etanol/politica/resolucao-cnpe-consolidada-diretrizes-renovabio-indefinicoes-300617/?kmi=brunolorenzi@gmail.com&utm_source=Etanol&utm_campaign=198da90aff-Quadro_estrategico_safra_2017_07_05&utm_medium=email&utm_term=0_9fda3940f1-198da90aff-71306113)>, acesso em: 04/07/2017.

²⁸ - NovaCana, “Resolução do CNPE consolida diretrizes do RenovaBio, mas indefinições continuam”, 30/07/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/politica/resolucao-cnpe-consolidada-diretrizes-renovabio-indefinicoes-300617/?kmi=brunolorenzi@gmail.com&utm_source=Etanol&utm_campaign=198da90aff-Quadro_estrategico_safra_2017_07_05&utm_medium=email&utm_term=0_9fda3940f1-198da90aff-71306113>, acesso em: 05/07/2017.

²⁹ Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p_auth=jM2l2zGp&p_p_id=consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_arquivoId=160&consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_javax.portlet.action=downloadArquivoAnexo, acesso em: 27/07/2017.

30 dias. Porém, esse prazo venceu e o presidente interino não tocou no assunto³⁰. Ainda, segundo o diretor do Departamento de Combustíveis Renováveis do Ministério de Minas e Energia (MME), Miguel Ivan Lacerda, o futuro do Renovabio era incerto, especialmente quanto à sua promulgação em forma de MP. Em suas palavras:

Está difícil. A gente está enfrentando uma barreira para explicar [o programa]”, afirma e completa: “A burocracia brasileira está emperrando o RenovaBio. Se não tiver uma intervenção política séria, o RenovaBio não sai. (...) Talvez não saia agora, não saia nesse governo, não saia nesse conjunto. Mas uma hora sai. Essa solução de carbono uma hora sai³¹.”

Apesar da notícia e a fala do diretor não trazerem muitos detalhes, podemos perceber que não são todos os setores do governo que estavam alinhados, além de apontar “problemas com a burocracia” e a necessidade de uma “intervenção”, o que podia significar a necessidade de grandes mudanças na opinião do diretor em relação ao programa ou na conjuntura nacional.

Outros episódios apontam outros desencontros. Dia 26 de setembro o senador Cidinho Santos (PR-MT) circulou a informação de que o Renovabio estava finalizado e teria sua cerimônia de lançamento no dia 03 de outubro (na forma de MP). Porém, mais tarde no mesmo dia houve uma reunião entre os parlamentares pró-Renovabio e o ministro da Casa Civil Eliseu Padilha, que informou que “ainda há setores dentro do governo preocupados com os impactos que o aumento da adição de biocombustíveis pode vir a ter” e preocupações com possíveis fatores inflacionários e que por isso solicitou uma manifestação do Banco Central sobre o assunto até o dia 17 de outubro³².

No dia 6 de novembro saiu a notícia de que o ministro do MME, Fernando Coelho Filho, reuniu-se com o presidente interino Michel Temer e divulgou a decisão de que o projeto de lei do Renovabio seria enviado ao congresso na forma de proposta de lei, e não através de medida provisória, o que causou extrema frustração do setor

³⁰ - NovaCana, “Temer não cumpre promessa do RenovaBio ao setor sucroenergético”, 04/09/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/politica/temer-promessa-renovabio-setor-040917>, acesso em: 08/09/2017.

³¹ - NovaCana, “Miguel Ivan Lacerda: O RenovaBio sai ou não sai?”, 05/09/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/eventos/miguel-ivan-lacerda-renovabio-sai-nao-sai-050917>, acesso em: 08/09/2017.

³² - NovaCana, “RenovaBio não será lançado na próxima terça-feira”, 27/09/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/politica/renovabio-lancado-proxima-270917>, acesso em: 20/10/2017.

sucroenergético, que esperava o início imediato do programa³³. Segundo a revista NovaCana, “uma MP passaria a imagem de ‘imposição’ do governo sobre o Congresso Nacional, algo que o presidente Michel Temer quer evitar neste momento”³⁴, além de uma grande fila de MPs a serem analisadas pelos parlamentares que ainda devem sofrer atraso devido ao período eleitoral, o que não garantiria a aprovação da MP de qualquer forma até meados de 2018.

Por fim, no dia 28 de novembro de 2017 a câmara aprovou a lei que cria o Renovabio (PLC 160/2017 de autoria do deputado Evandro Gussi, PV-SP), rejeitando as emendas que dispensavam os produtores de biocombustíveis de apresentar licença ambiental para o exercício da atividade, ao mesmo tempo em que acataram a emenda que reduz a multa cobrada às distribuidoras de combustíveis que descumprissem as metas estabelecidas no plano de até R\$ 100 milhões para no máximo R\$ 50 milhões e ainda outras emendas como a que assegura participação prioritária de agricultores familiares e produtores de biodiesel de pequeno porte na comercialização do produto por meio de leilões públicos³⁵.

Horas antes da votação na Câmara, a Petrobrás soltou uma diminuta nota em apoio à aprovação do programa, aparentando uma mudança de postura, apesar de afirmar que nunca foi contra o programa. Na nota, a empresa diz:

A Petrobras apoia e entende a iniciativa como um impulso relevante ao desenvolvimento da produção de biocombustíveis no Brasil e defende que as metas para elevação do uso de biocombustíveis sejam determinadas a partir dos compromissos de descarbonização assumidos pelo país. Reconhecendo que o Brasil tem uma matriz energética limpa, a Petrobras acredita na harmonização dos incentivos à cadeia de óleo e gás e de biocombustíveis, tendo em vista os compromissos do Acordo de Paris. A votação do projeto, com eventuais modificações, será mais um avanço importante no marco regulatório da indústria de óleo e gás no país³⁶.

³³ - NovaCana, “RenovaBio será enviado ao congresso em até 15 dias: ministro do MME confirma decisão de Temer”, 06/11/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/politica/ministro-mme-confirma-decisao-temer-renovabio-110617>, acesso em: 08/11/2017.

³⁴ - NovaCana, “Governo deve enviar RenovaBio como projeto de lei, não mais como MP, diz fonte”, 07/11/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/politica/governo-enviar-renovabio-projeto-lei-nao-mp-071117>, acesso em: 08/11/2017.

³⁵ - Agência Câmara, “Câmara aprova criação da Política Nacional de Biocombustíveis”, 29/11/2017. Disponível: <http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/POLITICA/549904-CAMARA-APROVA-CRIACAO-DA-POLITICA-NACIONAL-DE-BIOCOMBUSTIVEIS.html>, acesso em: 14/12/2017.

³⁶ - Agência Petrobras, “Petrobras avalia Renovabio como incentivo relevante aos biocombustíveis”, 28/11/2017. Disponível em: http://www.agenciapetrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=979834, acesso em: 19/12/2017.

É difícil saber a verdadeira opinião da estatal pelas notas ou o quanto essa mudança de postura foi resultado de pressões políticas. Mas são contundentes as críticas que a empresa fez em seu relatório em abril (Petrobras, 2017), o que indica que seus diretores veem o programa com cautela, preocupados com os seus possíveis efeitos nas contas da empresa e impactos econômicos.

No dia 12/12/2017 a lei foi aprovada no Senado sem emendas³⁷, seguindo para a sanção presidencial, que se deu dia 26/12/2018, tornando-se a lei nº 13.576 de 26/12/2017. Porém, mesmo após tomar forma de lei, não ficou claro como o programa irá funcionar e qual será o seu impacto na produção de biocombustíveis e no orçamento das distribuidoras. A lei não aponta quais serão os critérios que vão compor a Nota de Eficiência Energético-Ambiental instituída pelas firmas inspetoras aos produtores de biocombustíveis, nem o valor dos Créditos de Descarbonização (CBios), o que dependerá completamente de futuros regulamentos.

Portanto, a definição da figuração do CBios enquanto um actante – como os critérios de avaliação para a Nota de Eficiência das usinas e o valor dos CBios – o que atravessa todo o setor de combustíveis (fósseis, biocombustíveis e distribuidoras), permanece em aberto e deve seguir em disputa ao longo dos próximos anos, o que deve envolver o lobby do setor sucroenergético, o governo - que pode mudar de orientação em consequência das eleições de 2018 -, as distribuidoras, os pequenos produtores, etc. O próprio programa como um todo não terá seu funcionamento e impacto garantido até que essas questões sejam definidas, deixando em aberto se se tornará um forte ponto de passagem obrigatório ou não.

De qualquer forma, o lançamento do programa indica um grande alinhamento entre o setor sucroenergético e o atual governo, disposto a prejudicar o setor de combustíveis tradicionais, as distribuidoras e a Petrobras para auxiliar o setor sucroenergético (que será o maior beneficiado com base no volume de produção já estabelecido). Apesar dos desencontros e problemas de comunicação no meio do caminho, além da derrota de um dos principais objetivos do setor sucroenergético, que queria que o programa começasse a funcionar imediatamente, na forma de medida provisória, o programa foi aprovado na câmara e no senado em tempo recorde, o que demonstra o grande interesse do atual governo em apoiar o setor.

³⁷ - Senado Notícias, “Criação da Política Nacional de Biocombustíveis passa no Senado e vai à sanção”, 12/12/2017. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/12/12/criacao-da-politica-nacional-de-biocombustiveis-passa-no-senado-e-vai-a-sancao>, acesso em: 14/12/2017.

Todas essas negociações e o rápido andamento do projeto no congresso são em nosso ponto de vista importantes movimentos de translação bem sucedidos do setor sucroenergético, que fortalecem o setor e por consequência a rede do etanol de segunda geração, criando um ponto de passagem obrigatório que obrigará as distribuidoras a comprarem créditos das usinas, fortalecendo os produtores de biocombustíveis, especialmente os de etanol, ator mais interessado e beneficiado pelo programa.

5.2.5 – Considerações a respeito dos programas e os Fundos Setoriais

Segundo Callon (1998), a tradução pode ser vista como um processo de convergência entre os elementos heterogêneos de uma rede sociotécnica em torno de um projeto. Através da criação, modificação e adaptação de discursos, materiais, artefatos tecnológicos, etc, os objetivos e interesses de diversos atores podem convergir e reduzir suas ambiguidades para formar um projeto comum. Além disso, Callon (1991) aponta que após a convergência também é necessário aos atores trabalharem no que ele chama de processo de irreversibilidade, que se refere aos movimentos de tradução que buscam reduzir a possibilidade de dissolução da rede formada, criando pontos de passagem obrigatórios (geralmente através de um artefato tecnológico), tornando os atores dependentes entre si.

A reivindicação do setor sucroenergético pela criação de um CT-Etanol é uma tentativa de consolidação e irreversibilidade dos seus interesses, garantindo recursos para futuros projetos e definindo claramente quem teria direito a esses recursos, ao contrário do CT-Energia e do CT-Agronegócio, onde o setor sucroalcooleiro precisa lutar ano após ano para garantir recursos a projetos de seu interesse no orçamento.

Em concordância com Callon, Latour (2000) define a tradução como um processo que envolve recrutar aliados, convencê-los da importância de seu projeto, modificar seus objetivos para que converjam e tornar-se indispensável para a consecução desses objetivos. Dessa forma, tradução (ou translação – no inglês, *translation*, que envolve os dois sentidos) significa modificação, movimento, assim como falar a mesma língua.

Latour (2000) ainda aponta que a construção de um fato científico ou tecnologia envolve sempre um sociograma (atores humanos como cientistas, engenheiros, laboratórios, empresas, instituições, etc) e um tecnograma (atores não-humanos) tão

misturados e dependentes um do outro que só podem ser distinguidos artificialmente. Ao final desse processo, um fato científico consensualizado ou uma tecnologia disseminada transforma-se no que ele chama de “caixa-preta”, um ponto de passagem obrigatório que une esse sociograma e tecnograma de forma estável.

Não se deve deixar de notar que a caixa-preta fica entre esses dois sistemas de alianças, que ela é ponto de passagem obrigatório interligando os dois e que, quando é bem-sucedida, concentra em si o maior número possível de solidíssimas associações, especialmente se tiver sido transformada em autômato (Latour, 2000, p. 230).

Portanto, quando vemos os planos do MCTI, os programas PAISS e Renovabio, ou ainda a construção do CTBE, percebemos traduções bem sucedidas, onde o movimento de diversos atores (setor sucroenergético e suas organizações representativas, pesquisadores, ministérios, etc) convergem para a criação de um projeto e a consecução de um objetivo comum que deverá se transformar em caixa-preta (a produção viável de etanol celulósico). Ao mesmo tempo, podemos notar que o processo de tradução nunca é perfeito e definitivo, estando os atores de uma mesma rede constantemente em disputas em torno da definição de seus objetivos.

Apesar dessa disputa relacionada aos fundos setoriais e o CT-Etanol, podemos dizer que os interesses dos produtores de etanol em investimentos e financiamentos públicos para pesquisas e desenvolvimento do etanol celulósico estão sendo traduzidos com sucesso em termos de políticas públicas. O plano nacional voltado às pesquisas e inovações a médio prazo do MCTI - o ENCTI - inclui o etanol de segunda geração como uma de suas prioridades e levou à construção e funcionamento do CTBE, um grande laboratório público dedicado ao etanol no país e que conta com uma orçamento anual de R\$50 milhões. Ao mesmo tempo, o BNDES e da Finep reservaram boa parte de seus recursos (quase R\$5 bilhões) às pesquisas privadas sobre o assunto através do programas PAISS 1 e 2. O recente lançamento do Renovabio também indica a formação de alianças bem sucedidas do setor sucroenergético com o atual governo.

Com relação ao lançamento do Renovabio, apesar do anúncio do programa apontar um grande entrosamento entre o atual governo e o setor sucroenergético, ainda é cedo para dizer o que vai acontecer, mas as informações que temos até o momento de como o programa deverá funcionar, como a obrigação de compra de créditos de carbono por parte das distribuidoras, revelam que ele pode prejudicar em parte o setor de

combustíveis tradicionais e a Petrobras para favorecer o setor sucroenergético. Ou ainda pior, pode reforçar a concentração na mão das poucas distribuidoras que controlam mais de metade do mercado, já que os custos extras por conta da compra de crédito de carbono irão pesar muito mais para as pequenas distribuidoras.

O anúncio do programa ainda indica um grande entrosamento entre os usineiros e o governo atual, assim como a inserção (ou tradução) de seus interesses na agenda política atual na forma desse programa, o que demonstra ser uma direção muito distinta do primeiro governo de Dilma (2011-2014), em que o setor sucroenergético foi prejudicado com a política de preços da gasolina para controle da inflação. Entretanto, nada disso significa que isso seja uma aliança duradoura ou que não possa mudar radicalmente nos próximos anos ou até meses, mas é o que podemos apontar dentro do período da nossa análise.

Contudo, essas políticas e programas não foram suficientes até o momento para as empresas que decidiram construir plantas de segunda geração investirem fortemente em P&D de processos lignocelulósicos próprios, optando por importar as tecnologias adotadas em suas plantas, como veremos na próxima subseção, evitando assim apostar em alternativas arriscadas nessa fase de amadurecimento tecnológico. Segundo Milanez et al (2015), o aumento da oferta de recursos não reembolsáveis para instituições de pesquisa, institutos de tecnologia e empresas seriam fundamentais para o crescimento dessas pesquisas arriscadas (apenas R\$250 milhões de um total de quase R\$5 bilhões dos programas PAISS eram dessa modalidade).

Outras ações sugeridas no artigo incluem: mistura compulsória, subsídio e isenção tributária. Os autores apontam que o aumento da mistura compulsória de álcool à gasolina, que em 2014 foi de 25% para 27,% por meio da lei 13.033/2014, representou uma produção adicional de quase um bilhão de litros de etanol. Analistas do BNDES apontam que se somente 10% desse aumento (100 milhões de litros) fossem direcionado para o consumo compulsório de E2G, as usinas brasileiras receberiam incentivo suficiente para distribuir seu produto localmente, evitando assim a exportação de parcela majoritária da capacidade atualmente instalada. Ainda, se fosse conferido um prêmio (subsídio) de R\$,050 por litro desses 100 milhões, o que tornaria o E2G rentável já no curto prazo, a despesa fiscal resultante seria de apenas R\$ 50 milhões (Milanez et al, 2015). Além disso, os autores sugerem isenção tributária de máquinas equipamentos voltada para a produção de E2G, assim como das leveduras e enzimas necessárias a esse processo, nos mesmos moldes do que foi concedido à indústria petrolífera (Repenec) e

portuária (Reporto). Por fim, sugerem a priorização de parte dos recursos de P&D obrigatórios da ANP e da ANEEL, assim como a criação de um fundo de pesquisa para biocombustíveis e bioquímicos (como o CT-etanol).

Porém, precisamos olhar para essas sugestões com cautela. Somente três empresas (GranBio, Raízen e CTC) receberam mais de R\$1,7 bilhão na forma de financiamento ou participação acionária para a construção de suas usinas de segunda geração e seus demais projetos relacionados ao E2G, montante que representa quase dois terços do orçamento total do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC) para 2018 (R\$2,8 bilhões)³⁸. É importante também enfatizar que essas empresas investem muito pouco em P&D com recursos próprios, sendo o CTBE e as universidades responsáveis pela maior parte das pesquisas.

5.3 - As iniciativas de pesquisa e produção de E2G no Brasil

5.3.1 - Iniciativas antigas

A primeira iniciativa de se produzir o etanol celulósico no Brasil se deu em 1977 através da Fundação de Tecnologia Industrial (FTI) da extinta Faculdade Municipal de Engenharia Química (Famenquil). Essa tentativa pioneira, que chegou a operar em escala piloto, utilizava a hidrólise ácida concentrada para produzir etanol a partir da madeira (*eucalyptus panicutata*) (Silva, 2013).

Após essa iniciativa, a Companhia de Desenvolvimento Tecnológico (CODETEC), em conjunto com a Companhia Aços Villares e a Universidade Estadual de Campinas, iniciou o chamado projeto HIDROCON (nome derivado de “hidrólise contínua”) em 1979, que pretendia desenvolver um processo de hidrólise ácida contínuo utilizando a palha de arroz e posteriormente bagaço da cana como matéria-prima. O projeto chegou a escala piloto e chegou a ter rendimento de até 60%. Porém, essa configuração de atores não foi bem sucedida. Como já discutimos, a hidrólise ácida tem diversas desvantagens como a corrosão dos equipamentos, o que levou o projeto a ser descontinuado em 1983 devido aos baixos rendimentos (Silva, 2013; Cardoso, 2008).

³⁸ - Folha de S. Paulo, 16/12/2017, disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cenarios/2017/12/1943267-novo-corte-do-orcamento-para-ciencia-em-2018-pode-ruir-o-setor.shtml>>, acesso em: 03/02/2017.

Outra tentativa de se produzir etanol celulósico na época foi feita pela COALBRA (Coque e Álcool de Madeira S/A), empresa de economia mista criada pelo governo militar em 1979 no contexto do ProÁlcool e instalada em Uberlândia, através da aquisição de uma planta de origem suíça para hidrólise com ácido diluído da madeira. Essa rede rapidamente se desfez devido a problemas tanto em seus aspectos técnicos quanto humanos, já que os custos com a tecnologia importada eram muito altos e um escândalo político envolveu a empresa³⁹ (Silva, 2013).

Porém, a iniciativa mais significativa realizada no passado recente no Brasil, que se estendeu por mais tempo e trouxe maiores resultados, foi da Dedini S/A, localizada em Piracicaba, que iniciou no começo da década de 80 estudos para realizar hidrólise e produção de etanol celulósico a partir do bagaço de cana-de-açúcar. O projeto começou a ser financiado em 1987 pelo Banco Mundial através do Ministério da Indústria e Comércio (MIC) e possibilitou a construção de uma planta piloto que ficou pronta em 1989 para realizar o processo que chamaram de “Dedini Hidrólise Rápida” (DHR) (Silva, 2013).

Esse processo combinava um pré-tratamento a partir da tecnologia *organoslov* - a qual dissolve a lignina, através da combinação de um solvente em meio aquoso, com aproximadamente 75% de etanol e 25% de água (Silva, 2013) - para a separação da celulose da lignina e da hemicelulose combinado com um processo de hidrólise com ácido diluído no mesmo reator e de forma contínua. Esse processo, trazido do Canadá, foi originalmente pensado para hidrolisar a madeira e o esforço da Dedini foi no sentido de adaptar para o bagaço de cana e torna-lo mais eficiente.

Segundo Silva (2013), o momento decisivo para a Dedini foi em 2002 quando firmou parceria com a Copersucar, o CTC e a FAPESP por meio do Programa Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) que possibilitou a construção de uma planta semi-industrial instalada na Usina São Luiz, em Pirassununga, que começou a operar em 2004 e funcionou até 2007.

O processo Dedini Hidrólise Rápida se desenvolveu e atingiu um rendimento global de 59% (CGEE, 2009). Segundo Silva (2013), a Parceria da Dedini com o CTC era fundamental devido aos seus recursos humanos e o fato que o CTC podia se candidatar a receber os recursos da FAPESP, por ser um centro de pesquisa.

³⁹ - Correio de Uberlândia, “Picaretagem sofisticada”, 04/01/2015, disponível em: <http://www.correiodeuberlandia.com.br/colunas/ivasantos/picaretagem-sofisticada/> acesso em: 30/01/2015.

Porém, essa parceria não durou muito tempo. Após a reestruturação do CTC em 2004, que passou a ser uma associação civil de direito privado sem fins lucrativos associada a várias empresas, o centro revisou seus projetos e a nova diretoria concluiu que o processo DHR não era viável e abandonou a parceria com a Dedini. Isso fragilizou a rede da Dedini e a sua captação de recursos.

Gargalos técnicos, como dificuldades com a limpeza da matéria-prima, a não viabilização da fermentação das pentoses e um rendimento que não era economicamente viável, além de um incêndio na planta semi-industrial em dezembro de 2008, contribuíram para o abandono do projeto.

Esse caso demonstra a importância dos atores não-humanos e das alianças de um ator-rede, assim como os pontos de vista e objetivos desses atores, já que mesmo a Dedini ainda tendo interesse em apostar nessa tecnologia, a reestruturação do CTC e a sua decisão de não investir mais nessa pesquisa alterou significativamente as traduções dessa rede (que envolvia o melhoramento do processo de hidrólise ácida por meio de recursos da FAPESP), o que significou o fracasso e desfazimento de toda a rede, mesmo o polo dessa rede não sendo o CTC. É importante também salientar que com exceção da FAPESP não havia nenhum programa governamental que pudesse dar apoio a esse projeto.

Porém, após o envolvimento da FAPESP, o projeto se tornou famoso internacionalmente e foi, segundo a autora, fundamental para o estímulo de pesquisas e projetos posteriores como o do CTC. Também foi baseado na experiência da Dedini e seu relativo sucesso que incentivou o Projeto Bioetanol realizado em 2005 pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCI), que levou a criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), inaugurado em 2010.

5.3.2 - O CTBE

O CTBE (Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol) é um laboratório nacional integrado ao CNPEM – Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais – e vinculado ao Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI). Foi inaugurado em janeiro de 2010 como resultado de um estudo realizado entre 2005 e 2008 pelo NIPE (Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético), CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos) e Unicamp que tinha como objetivo avaliar os

gargalos e deficiências do setor sucroenergético e propor mudanças para que pudesse aumentar significativamente a escala de produção do etanol brasileiro, com vistas a substituir 10% do consumo mundial de gasolina projetado para 2025. O laboratório e seus recursos são partes integrantes da Estratégia Nacional para Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) e recebeu um investimento inicial de R\$69 milhões para sua implantação e conta com recursos anuais de R\$50 milhões (Maia, 2010; Giorgio, 2017).

O CTBE tem como missão contribuir para o avanço do conhecimento científico e tecnológico na produção, uso e conversão de biomassas em energia e materiais, por meio de pesquisa, desenvolvimento, inovação e capacitação de pessoal⁴⁰. Após 2014, o CTBE passou por uma reestruturação e seus 5 programas anteriores (Programa Industrial, Programa Agrícola, Programa de Sustentabilidade, Programa de Avaliação Tecnológica e Programa de Pesquisa Básica) foram substituídos por três divisões de pesquisa com vistas a aumento de eficiência e economia de recursos, além do foco do laboratório ter passado a ser a transferência de tecnologias ao setor produtivo (Giorgio, 2017). As divisões são:

- **Divisão de Produção de Biomassa:** como foco no desenvolvimento da produção de cana-de-açúcar, com base em inovações nos processos de mecanização e manejo, engenharia, fisiologia e biologia molecular.
- **Divisão de Processamento de Biomassa:** Pesquisa e desenvolvimento em processos de conversão da biomassa, com ênfase em processos de segunda geração como desenvolvimento de enzimas, hidrólise, fermentação, etc, além da indústria química verde.
- **Divisão de Avaliação Integrada de Biorrefinarias:** Modelo e avaliação de toda a cadeia produtiva, do plantio à distribuição, passando pela conversão, a partir de uma plataforma de simulação integrada, com vistas a analisar os impactos de novas tecnologias e sua rentabilidade.

O laboratório também está equipado com uma planta piloto (300 litros) equipada com Tratamento Físico do Bagaço de Cana; Tratamento Físico-químico do Bagaço de Cana; Bioprocessos para a Produção de Microorganismos e Metabólitos; Hidrólise Enzimática do Material Lignocelulósico; Separação e Purificação; Fermentação

⁴⁰ - CTBE, “Missão e Visão do CTBE”, disponível em: < <http://ctbe.cnpem.br/o-ctbe/missao-visao/>>, acesso em: 05/06/2017.

Alcoólica - onde que realiza pesquisas próprias e recebe propostas de pesquisas de fora⁴¹.

Como dissemos, a ênfase do CTBE atualmente é a transferência de tecnologias ao setor produtivo, o que se dá a partir de colaborações do laboratório com empresas externas. As pesquisas e desenvolvimentos realizados conjuntamente a partir de acordos garantem às empresas acesso às instalações do laboratório, apoio da equipe interna, apoio à busca de recursos governamentais, avaliação técnica e de sustentabilidade (social, ambiental e econômica), suporte à criação de star-ups, entre outros serviços oferecidos pelo laboratório. Essas atividades são remuneradas pelo contratante (da onde vem a maior parte dos recursos do laboratório) e ao final da pesquisa seus resultados são compartilhados entre a empresa e o laboratório, garantindo à empresa parceira exclusividade da exploração das patentes resultantes por um período suficiente para o reembolso do total investido pela empresa (avaliado pelo CTBE). Após esse período a patente volta a ser controlada pelo CTBE (o qual é detentor de 100% das patentes desenvolvidas, cedendo apenas a exclusividade de exploração por período determinado). Além disso, são firmadas diversas cláusulas no momento do acordo que garantem que a empresa irá oferecer de maneira adequada ao mercado a tecnologia desenvolvida ou seu licenciamento, sob a pena de perder a exclusividade das patentes (Giorgio, 2017).

Segundo Giorgio (2017), é de extrema importância o suporte que o CTBE dá às empresas na forma de desenvolvimento conjunto pois as etapas iniciais da cadeia de inovação são as mais arriscadas, o que afasta a maior parte das empresas da pesquisa básica ou disruptivas e as levam muitas vezes a optar pela importação da tecnologia. Ao oferecer pesquisas básicas, know-how e pessoal, além do suporte ao longo das fases iniciais da pesquisa e desenvolvimento, o CTBE minimiza os riscos dessas empresas. No entanto, é a empresa terceira que fica responsável por produzir e disseminar as tecnologias desenvolvidas junto ao centro, quando o risco já é menor.

Através do quadro aqui apresentado, fica claro para nós que o CTBE atua como um forte mediador dentro da rede do etanol celulósico, realizando diversos movimentos de translação, como quando aproxima as empresas a programas públicos de financiamento, oferecendo suporte e desenvolvendo pesquisas junto a elas,

⁴¹ CTBE, “Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos”, disponível em: <http://ctbe.cnpem.br/planta-piloto/>, acesso em: 11/07/2017.

minimizando seus riscos, além de garantir o registro da patente e difusão dessas tecnologias.

Até o final da nossa pesquisa, o CTBE possuía 14 depósitos de patente, sendo 5 depósitos relacionados ao desenvolvimento de enzimas e hidrólise enzimática (não licenciados), 3 relativos ao desenvolvimento de micro-organismos e fermentação e o restante relacionado à colheita e processamento da cana⁴².

Segundo os pesquisadores do CTBE, os principais desafios à viabilidade comercial do E2G são: dificuldades no pré-tratamento; baixa eficiência da hidrólise; custo das enzimas e dificuldade de fermentação das pentoses (Rossel et al., 2014).

5.3.3 – O CTC

Já vimos um pouco da história da criação e atuação do CTC no final da década de 60 e década de 70 na seção 3.1. Desde então, o CTC já desenvolveu mais de 70 variedades de cana lançadas (canas SP e CTC), que são cultivadas em mais de 50% da área em cana no país. Além disso, o CTC atua em toda a cadeia produtiva da cana-de-açúcar, em temas como administração rural, melhoramento de variedades, fitossanidade, sistemas de plantio e colheita, processos de extração e fermentação e sistemas de energia para as usinas de açúcar e bioetanol, tendo sido a principal base de inovações para as usinas paulistas e importante suporte técnico em temas agrícolas e industriais (BNDES & CGEE, 2008).

Em 2005, o CTC se reestruturou e foi desmembrado da Copersucar, passando a constituir uma organização da sociedade civil de interesse público (OSCIP), sem fins lucrativos. Em 2011 o CTC muda de novo sua constituição jurídica e passa a ser uma Sociedade Anônima (S/A), de capital ainda não aberto e com fins lucrativos. Os antigos sócios passaram então a acionistas da empresa. Desde então, sua fonte de renda e lucros advém exclusivamente da venda de suas tecnologias, através dos royalties pagos pelas empresas pelo licenciamento de suas propriedades de patentes. Atualmente, seu maior acionista é a Copersucar, com 25% das ações, seguido da Raízen com 20%. Conta com 12 polos regionais e cerca de 350 profissionais⁴³.

⁴² - CTBE, Listagem de todas as Patentes. Disponível em: <http://ctbe.cnpem.br/patentes>, acesso em: 29/05/2017.

⁴³ - CTC, disponível em: <http://www.ctcanaveira.com.br/energiabrasileira.html>, acesso em: 07/08/2017.

O CTC conta atualmente com 174 usinas e associações de fornecedores de canas como seus associados, responsáveis por 60% da cana produzida no Brasil, o que lhe tem permitido executar um orçamento anual de R\$ 45 milhões, com um corpo de mais de 300 pesquisadores (Furtado, Scandiffio e Cortez, 2008). Atualmente o CTC é controlado majoritariamente pela Copersucar, seguido pela Cosan, Raízen, Bunge, Grupo Coruripe, Tereos, Orplana, ETH, e LDC-SEV Bioenergia (Estadão, 12/01/2011).

Segundo técnico do CTC, após sua reestruturação em 2005, o CTC abandonou o modelo de inovação por incremento que desenvolvia junto às usinas quando ainda era parte de uma cooperativa e passou a focar no tipo de inovação radical - ou disruptiva - para poder sobreviver exclusivamente da venda de tecnologias. Suas principais linhas de pesquisa agora são duas: a biotecnologia, com o lançamento da primeira variedade de cana-de-açúcar transgênica previsto para 2017⁴⁴, e o etanol de segunda geração.

Após a experiência com a Dedini, iniciou um projeto em 2006 para a criação de um processo próprio de produção de etanol de segunda geração, denominado E2G (Etanol de 2ª Geração). Em 2009 inaugurou uma planta-piloto para os testes em julho de 2014 foi inaugurada sua planta de demonstração (semi-industrial), instalada na usina de São Manoel (SP), com capacidade de produção de 3 milhões de litros e etanol celulósico por ano (Silva, 2013; Corrêa, 2014).

As rotas escolhida pelo CTC foram a hidrólise enzimática, utilizando o bagaço e a palha como matéria-prima e vapor com catalizadores para o pré-tratamento, integrado a usinas de primeira geração. As enzimas serão fornecidas através de uma parceria com a Novozymes e os equipamentos fornecidos pela Andritz. O processo como um todo é de propriedade do próprio CTC, constituindo o único processo nacional para produção de etanol de segunda geração já instalado e com potencial de comercialização. Espera-se que a tecnologia se torne comercialmente viável até 2018. Segundo a direção de Etanol de Segunda Geração do CTC, a unidade tem como principal objetivo mostrar a investidores, acionistas e clientes o potencial da tecnologia de segunda geração desenvolvida pelo centro (Corrêa, 2014).

A construção da usina recebeu um investimentos da ordem de R\$ 80 milhões por meio de financiamento do Programa PAISS. Além disso, em 2014 o CTC recebeu um

⁴⁴ - “Primeira cana transgênica chega ao mercado em 2017”, Canal Rural, 30/07/2015. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/cana/primeira-cana-transgenica-chega-mercado-2017-57942>>, acesso em: 11/08/2015.

investimento de mais R\$300 milhões na forma de participação acionária pelo programa (via BNDESPAR) para suas pesquisas (Soares, 2016).

Uma das principais inovações em relação ao processo de produção do etanol celulósico que o CTC desenvolveu junto a Novozymes, refere-se a redução da quantidade de enzimas necessárias para a hidrólise, em uma parceria que durou de 2007 a 2009 e teve um investimento de R\$200 milhões por parte da empresa dinamarquesa. De acordo com informações no site da empresa, houve uma redução de 4 vezes a quantidade necessária em 2 anos de pesquisa em parceria⁴⁵. Porém, em 2009 o CTC encerrou o acordo de co-desenvolvimento e estabeleceu com a Novozymes um contrato de fornecimento das enzimas (licenciamento), optando por desenvolver isoladamente sua tecnologia enzimática (Corrêa, 2014).

Em 2012 o CTC iniciou uma ampla parceria com a Embrapa. O acordo prevê a cooperação em três linhas de pesquisa: melhoramento genético, biotecnologia agrícola e o desenvolvimento de uma levedura nacional que quebre as moléculas de 5 carbonos (pentoses) do bagaço de cana⁴⁶.

A principal fornecedora dos equipamentos utilizados para a construção da usina de São Manoel é a Andritz, sendo que a Pöyry Engenharia cuida do projeto de engenharia.

O CTC é a única empresa nacional que desenvolve tecnologia própria para o conjunto de processos para a produção de E2G, incluindo pré-tratamento e hidrólise. Em 2011 o CTC realizou testes numa planta piloto da SEKAB, uma empresa Sueca, buscando adaptar para a cana-de-açúcar o processo de hidrólise originalmente desenvolvido para a madeira. Apesar dos resultados não terem sido satisfatórios (Corrêa, 2014), em 2012, 2013 e 2014 o CTC depositou 3 patentes junto ao INPI relacionadas ao processo de hidrólise e produção integrada de 1ª e 2ª geração⁴⁷, as quais se juntam à patente depositada em 2008 referente ao processo fermentativo compreendendo etapa de pré-tratamento e hidrólise enzimática utilizando biomassa (PI 0802153-8), concedida em 2016.

⁴⁵ - The Novozymes/CTC partnership, disponível em: <http://bioenergy.novozymes.com/en/cellulosic-ethanol/our-partners/ctc/Pages/default.aspx>, acesso em: 03/08/2015.

⁴⁶ - “Parceria Embrapa e CTC incrementa pesquisas para o etanol celulósico”, Única, 04/09/2012. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/32026594920328781316/parceria-embrapa-e-ctc-incrementa-pesquisas-para-o-etanol-celulosico/>>, acesso em: 11/08/2015.

⁴⁷ - INPI, busca por CTC. Resultados selecionados: BR 11 2014 023856 ; BR 10 2012 032807 0; BR 10 2012 007299 8.

A matéria-prima para a produção de etanol de segunda geração será o bagaço excedente das caldeiras de geração de eletricidade e metade da palha residual, que de praxe é devolvida ao solo para adubação. Segundo técnico do CTC entrevistado, esse insumo não concorre com a geração de eletricidade da usina pois há muito bagaço excedente além do que é necessário para a autonomia elétrica da usina e a venda de eletricidade não compensa muito para as usinas atualmente, pois a sua geração ainda é muito ineficiente e o preço pago é muito baixo. Uma pesquisa aponta que as usinas de açúcar e álcool podem liberar entre 30 e 50% do bagaço produzido para usos alternativos (Macedo, 2001).

Quanto às futuras plantas comerciais de etanol de segunda geração na região de São Paulo, de acordo com o assessor técnico do CTC, no início o CTC previa-se que toda usina poderia ter sua micro destilaria de segunda geração. Porém, agora indica que o mais provável é que várias usinas devam se associar na forma de clusters de duas ou mais usinas para construir plantas conjuntas de segunda geração devido aos custos de aquisição das tecnologias, que são mais caras nos primeiros anos. Isso aponta para nós o caráter concentrador do etanol de segunda geração, que só seria viável para poucas grandes usinas ou ainda um conjunto de grandes usinas com capital suficiente para a instalação de uma planta.

Nossos entrevistados ainda explicam que a produção de etanol de segunda geração deve compensar para muitas usinas na região Centro-Sul que não tem mais para onde expandir a área plantada, sendo mais rentável para a usina do que produzir em regiões mais distantes.

Até o momento, os gargalos relacionados ao pré-tratamento têm se mostrado um dos principais desafios e a mais urgente prioridade para a produção de E2G (Grossi, 2015, NovaCana). Logo após o início das atividades da planta comercial da GranBio, a produção de etanol de segunda geração teve que ser suspensa e as estimativas revisadas devido a problemas no pré-tratamento, o que tem gerado sérias dúvidas no setor em relação ao futuro do etanol celulósico.

5.3.4 - A Raízen

A Raízen (Raízen S.A.) é uma empresa privada de capital fechado fundada em 2011. Ela é fruto de uma Joint Venture entre a empresa anglo-holandesa Shell e a empresa brasileira Cosan. A empresa conta com mais de 30 mil funcionários e é uma

das maiores produtoras de etanol de cana-de-açúcar no país, com um volume anual de cerca de 2 bilhões de litros. Atua ainda no segmento de distribuição de combustíveis (logística e infraestrutura) por meio da Shell, o que permite uma integração vertical da cadeia desde a matéria-prima (cana-de-açúcar) até a distribuição (postos de gasolina), com ampla penetração no país. A Raízen ainda é sócia do CTC e estabelece parcerias tecnológicas com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e com diversas universidades⁴⁸ (Corrêa, 2014).

Um mês após a inauguração da planta da GranBio, a Raízen inaugurou sua planta industrial em Piracicaba (SP), capaz, segundo a empresa, de produzir cerca de 40 milhões de litros de etanol celulósico por ano. O investimento somou um total de R\$231 milhões, dos quais R\$207 milhões foram financiados por meio de crédito do BNDES através do programa PAISS (Corrêa, 2014, Raízen⁴⁹).

O processo utilizado nessa usina utiliza tecnologia desenvolvida pela canadense Iogen Corporation, o qual foi licenciado para a Joint Venture, na qual cada uma possui 50% de participação (Corrêa, 2014). O processo utiliza somente o bagaço como matéria-prima, explosão a vapor para o pré-tratamento, hidrólise enzimática com enzimas da dinamarquesa Novozymes e fermentação de ambos os açúcares (pentose e hexoses)⁵⁰. A empresa conta com o uso exclusivo dessa tecnologia e terá propriedade integral sobre todos os desenvolvimentos resultantes do projeto (Corrêa, 2014).

O custo de produção é o melhor até agora devido ao menor preço na matéria-prima utilizada (bagaço por US\$ 38,00 por tonelada em comparação com os US\$ 40,00 da palha utilizada pela GranBio) e o baixo custo de capital da unidade produtiva. Segundo a empresa, o custo de produção do etanol de primeira geração é de cerca de R\$ 1.150/m³, enquanto o de segunda geração custa R\$ 1.400/m³. A projeção era de que os dois tipos de etanóis iriam se equiparar até 2017, com a meta de atingir o custo de R\$ 1.100 por metro cúbico⁵¹. Em 2016 a empresa firmou um contrato de fornecimento de cana-energia para a produção de E2G com a Vignis, uma empresa de tecnologia do setor sucroenergético voltada ao desenvolvimento de variedades de cana-energia, a

⁴⁸ - Raízen, disponível em: <<http://www.Raízen.com/pt-br/a-Raízen/pesquisa-e-desenvolvimento>>, acesso em: 24/11/2015.

⁴⁹ - <http://www.Raízen.com.br/energia-do-futuro-tecnologia-em-energia-renovavel/etanol-de-segunda-geracao>

⁵⁰ - “Raízen, disponível em: <<http://www.Raízen.com.br/energia-do-futuro-tecnologia-em-energia-renovavel/etanol-de-segunda-geracao>>, acesso em: 24/11/2015.

⁵¹ - “Raízen inaugura usina de etanol de 2ª geração”, disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,Raízen-inaugura-usina-de-etanol-de-2-geracao-imp-1730379>, acesso em: 27/10/2016.

primeira empresa no Brasil a desenvolver uma variedade de cana-energia em 2008, sediada em Campinas⁵², que deve chegar a 1 milhão de toneladas na safra 2018/2019⁵³.

Em 2015, a empresa projetou produzir 9,84 milhões de litros de E2G, entretanto estima-se que apenas 1 milhão de litros tenham sido produzidos (Soares, 2016). Assim como a GranBio, a Raízen também enfrenta problemas com a fase de pré-tratamento, apesar de detalhes não serem divulgados até esse momento⁵⁴. A meta para a safra 2017/2018 segundo a empresa é de 15 a 20 milhões de litros⁵⁵. A Raízen ainda tinha planos de construir mais sete plantas de segunda geração após os custos de produção de E2G se igualarem ao de primeira geração⁵⁶, planos que também foram radicalmente alterados com esses imprevistos e não há previsões para a ampliação da operação atualmente (Oliveira Filho, 2017).

Inicialmente, o etanol de segunda geração da Raízen deverá ser consumido no mercado interno. Porém, o mercado europeu também é alvo da empresa, que, segundo o vice-presidente Pedro Mizutani, pagará um sobrepreço em relação ao etanol de primeira geração por um produto mais sustentável, que emite menos CO₂⁵⁷. Também havia planos de se produzir E2G fora do Brasil, nos EUA, mas ainda sem data marcada⁵⁸.

Assim como a GranBio, a rede formada em torno da Raízen também é complexa e diversificada, incluindo atores do setor financeiro, tecnologia, grupos internacionais, atores não-humanos, etc. Inclusive, vários desses atores são comuns às duas redes, como o BNDES, a Vignis e a cana-energia.

⁵² - Revistarpanews, “A CanaEnergia e sua versatilidade”, disponível em: <<http://www.revistarpanews.com.br/index.php/publi/item/522-agricola-ed185>>, acesso em: 30/05/2017.

⁵³ - Revistarpanews, “A CanaEnergia e sua versatilidade”, disponível em: <<http://www.revistarpanews.com.br/index.php/publi/item/522-agricola-ed185>>, acesso em: 30/05/2017.

⁵⁴ - NovaCana, “Etanol celulósico na encruzilhada: gargalos continuam e usinas atingem, em média, apenas 7% da capacidade”, disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-celulosico-encruzilhada-gargalos-usinas-7-capacidade-310517>, acesso em: 01/06/2017.

⁵⁵ - “Raízen fala em ampliar produção de etanol celulósico ou construir uma nova usina”. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/Raizen-ampliar-producao-etanol-celulosico-construir-nova-usina-220317>>., acesso em: 23/03/2017

⁵⁶ - “Raízen inaugura primeira unidade de etanol de segunda geração”, disponível em: <http://www.Raizen.com.br/Raizen-inaugura-primeira-unidade-de-etanol-de-segunda-geracao>, acesso em: 27/10/2016.

⁵⁷ - “Raízen inaugura usina de etanol de 2ª geração”, disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,Raizen-inaugura-usina-de-etanol-de-2-geracao-imp-1730379>, acesso em: 27/10/2016.

⁵⁸ - Exame, “Raízen planeja investir R\$ 2,5 bi em etanol de 2ª geração”, 02/01/2015. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/negocios/Raizen-planeja-investir-r-2-5-bi-em-etanol-de-2a-geracao>, acesso em: 05/09/2017.

5.3.5 – A GranBio

A GranBio (GranBio Investimentos S.A) é uma empresa de biotecnologia industrial com sede em São Paulo (SP). Fundada em 2010, a empresa conta com cerca de 264 funcionários e é 100% nacional, controlada majoritariamente pela GranInvestimentos S.A (Corrêa, 2014).

Em setembro de 2014 a GranBio anunciou que começou a produzir etanol de segunda geração em nível comercial em sua usina - a BioFlex1 - localizada em São Miguel dos Campos, Alagoas. A unidade custou US\$190 milhões e demorou 20 meses para ser construída⁵⁹. Ela é capaz, segundo a GranBio, de produzir 82 milhões de litros de etanol de segunda geração por ano e com isso tornou-se a primeira empresa a produzir etanol celulósico em nível comercial do hemisfério Sul, apesar de utilizar tecnologias importadas (Corrêa, 2014). A Lux Research (2016) estimou que o preço mínimo de venda, que considera o retorno sobre o capital investido, do E2G da Granbio é de US\$ 0,70 por litro. Os custos por litro da empresa giram em torno de US\$ 0,30 (Soares, 2016).

A parceria com o BNDES é uma das alianças mais importante da rede sociotécnica formada pela Granbio. Enquanto principal parceiro financeiro do projeto aportou R\$280 milhões na forma de financiamentos e mais R\$ 600 milhões por meio de participação acionária via BNDESPAR, em troca de 15% de suas ações, num total de R\$880 milhões. Além desse valor correspondente ao primeiro PAISS, em 2014, a Granbio teve quatro projetos aprovados pelo PAISS Agrícola (PAISS 2), incluindo três envolvendo especificamente o desenvolvimento da cana energia, o que representou cerca de R\$ 345 milhões em financiamento (Soares, 2016).

Outro ator fundamental nessa rede é a empresa italiana Beta Renewables. O processo adotado pela GranBio utiliza a tecnologia PROESA, licenciada pela empresa. O Projeto PROESA engloba todas as etapas do processo, desde o pré-tratamento da matéria-prima até o produto final. O processo utiliza bagaço e palha (única do Brasil) como matéria-prima, alta temperatura e pressão para o pré-tratamento da biomassa, enzimas da dinamarquesa Novozymes para a hidrólise e leveduras da holandesa DSM para a fermentação de ambas os açúcares (pentoses e hexoses). Porém, a GranBio não tem participação nas pesquisas, desenvolvimento e resultados dessas tecnologias (Corrêa, 2014; Soares, 2016).

⁵⁹ - “GranBio inicia produção de etanol de segunda geração”, disponível em: <http://www.granbio.com.br/wp-content/uploads/2014/09/partida_portugues.pdf>, acesso em: 16/02/2015.

Para produzir o etanol 2G no Brasil, a GranBio fechou parceria com a BioChemtex, do grupo italiano Mossi Ghisolfi, desenvolvedora de tecnologias para conversão de biomassa utilizada na planta comercial da BetaRenewables - primeira no mundo a operar, na Itália. A companhia também é parceira da dinamarquesa Novozymes, que fornece as enzimas para a hidrólise e da holandesa DSM, fornecedora dos microrganismos para fermentação⁶⁰.

A rede formada pela GranBio para o desenvolvimento do E2G também inclui, além do BNDES, outros atores-rede brasileiros. No caso, a empresa esta desenvolvendo sua própria variedade de cana-energia, denominada “Cana-Vertex”⁶¹, é desenvolvida pela em parceria com a BioVertis, subsidiária da Vignis. Essa variedade é capaz, segundo a empresa, de crescer em áreas degradadas (como pastos), com menos água e insumos e é até três vezes mais produtiva comparada às variedades comuns plantadas no mesmo espaço. Ela deve ser utilizada principalmente para a produção de etanol de segunda geração da empresa (Corrêa, 2014; Soares, 2016).

Destaque merece ser dado às conquistas alcançadas pela Granbio na fase agrícola da produção do E2G. No que diz respeito à colheita da palha de cana, a empresa diz ter alcançado a capacidade de coleta superior a 360 mil toneladas/ano com um nível de pureza superior à 97%, isto é, com pouca presença de resíduos minerais. No tocante à cana energia, a empresa já possui uma fazenda de mais de mil hectares dessa variedade. O custo por tonelada da palha da cana é de US\$ 40. Entre 2015 e 2016, foram colhidos 200 hectares de cana energia que foram processados em uma planta de E1G mostrando bons resultados (Soares, 2016).

A GranBio possui um Centro de Pesquisas em Biologia Sintética, a BioCelere, inaugurado em 2013 no complexo Techno Park em Campinas, com foco no melhoramento genético de microrganismos, processamento de biomassa, desenvolvimento de processos de fermentação e de hidrólise enzimática. A equipe é formada por mais de 20 cientistas⁶². Ela também investe no desenvolvimento de sua própria variedade de levedura para a fermentação das pentoses e hexoses em seus laboratório em Campinas em parceria com a Unicamp. A nova levedura já recebeu autorização da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), porém, a

⁶⁰ <http://www.Raizen.com.br/en/node/1590>

⁶¹ - GranBio, “Cana-Energia”, disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/cana-energia>>, acesso em: 23/11/2015.

⁶² - Granbio, “Centro de pesquisas BioCelere”, disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/centro-de-pesquisas>>, acesso em: 30/05/2017.

Granbio ainda enfrenta dificuldades para a produzi-la em larga escala e atualmente ainda faz uso da levedura geneticamente alterada da DSM (Soares, 2016).

A caldeira de cogeração do sistema é parte de uma usina de primeira geração instalada ao lado da Bioflex1 e deve permanecer em operação durante onze meses no ano, o equivalente a oito mil horas, no período de safra e entressafra da usina Caeté, do grupo Carlos Lyra. Além de atender às necessidades das duas fábricas, a caldeira gerará um excedente de energia elétrica da ordem de 135.000 MWh/ano, o suficiente para abastecer uma cidade de 300 mil habitantes, que será comercializado para o sistema elétrico⁶³.

Podemos perceber que a rede formada em torno da GranBio para a produção de E2G é bastante ampla e heterogênea, formada por parcerias com instituições de financiamento (BNDES), empresas de tecnologia (Vignis, que por sua vez esta ligada ao IAC, Ridesa entre outros), laboratórios (BioCelere), outras usinas, grupos internacionais (Beta Renewables, DSM), atores não-humanos (enzimas, leveduras, cana-energia), etc. Todos esses elementos são essenciais para o funcionamento dessa rede, e é difícil dizer qual é o mais importante.

Porém, a operação da usina não tem sido tranquila e ininterrupta. Desde sua inauguração, a usina já foi paralisada duas vezes, dois meses no final de 2015 e entre abril e outubro de 2016. O motivo das duas paralisações foram os mesmos: problemas na etapa de pré-tratamento. Apesar de sua capacidade de produção de 82 milhões de litros por ano de E2G, em 2015, no entanto, a empresa produziu apenas 4 milhões de litros, correspondente a apenas 4% de sua capacidade instalada (Soares, 2016). O principal problema que afetou a produção e causou as paralisações foi o excesso de areia restante após a etapa de pré-tratamento, o que prejudica o material e as peças da instalação⁶⁴. Segundo Oliveira Filho (2017) em entrevista com diretor do CTBE:

A biomassa que chega até o reator onde ocorre a deslignificação (pré-tratamento) carrega muitas impurezas, ou seja, a terra que entra na fábrica junto com a palha da cana, quando submetida à pressão e temperatura elevadas, corrói com agressividade as estruturas de aço da planta. O problema é que os equipamentos não foram testados para um elevado teor de minerais, isto é, os testes feitos com palha e bagaço de cana na Itália tinham um nível de “pureza” maior (p. 270).

⁶³ - “GranBio inaugura produção comercial de etanol de 2ª geração no Brasil”, disponível em: <http://br.reuters.com/article/idBRKCN0HJ1SF20140924?pageNumber=3&virtualBrandChannel=0&sp=tr> ue, acesso em: 28/10/2016.

⁶⁴ “GranBio paralisa usina em Alagoas”, disponível em: <https://www.jornalcana.com.br/granbio-paralisa-usina-em-alagoas/>, acesso em: 31/10/2016.

Essa situação alterou radicalmente os planos da empresa. A GranBio tinha planos de construir mais dez unidades de etanol de segunda geração, sendo que a segunda usina teria sua construção iniciada em 2016⁶⁵. Porém, esses projetos foram abandonados e a construção da segunda usina, se acontecer, foi adiada por tempo indeterminado. A empresa ficou sem produzir E2G durante o ano de 2017 inteiro e sua estimativa de produzir 1 (um) bilhão de litros de E2G até 2020 também foi postergada para *ao menos* 2030⁶⁶.

Devido à baixa produção, o E2G em 2015 foi direcionado ao mercado local, mas o foco da empresa era exportar o E2G para os EUA, principalmente para o Estado da Califórnia, pois eram mercados que ofereciam maior retorno pelo combustível (Soares, 2016). Entretanto, em julho de 2017 o governo Trump anunciou cortes na mistura com a gasolina e importação de biocombustíveis avançados⁶⁷, o que deve afetar radicalmente os planos da empresa.

Contudo, esta situação não mudou a confiança da empresa. Segundo, seu vice-presidente de negócios, Alan Hiltner, os resultados de todas as tecnologias fundamentais no processo de produção de E2G (hidrólise, fermentação, destilação), exceto o pré-tratamento, foram melhores que o esperado⁶⁸. O único ponto crítico foi suficiente para frustrar as expectativas da produção e atrasar em cerca de um ano a operação da planta. As expectativas eram de que até 2017 o processo fosse ininterrupto e que em 2018 o preço do E2G se igualasse ao de primeira geração⁶⁹, o que não pudemos confirmar até o final de nossa pesquisa.

⁶⁵ - “GranBio inaugura produção comercial de etanol de 2ª geração no Brasil”, disponível em: <http://br.reuters.com/article/idBRKCN0HJ1SF20140924?pageNumber=3&virtualBrandChannel=0&sp=tr ue>, acesso em: 28/10/2016.

⁶⁶ - NovaCana, “GranBio: Usina hoje vende energia em vez de produzir etanol”, 06/11/2017. Disponível em: https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-usina-vende-energia-produzir-etanol-061117/?kmi=brunolorenzi@gmail.com&utm_source=Etanol&utm_campaign=fa63e4f79c-EMAIL_CAMPAIGN_2017_11_06&utm_medium=email&utm_term=0_9fda3940f1-fa63e4f79c-71306113, acesso em: 06/11/2017.

⁶⁷ - NovaCana, “EUA corta pela metade expectativa de importação de etanol brasileiro”, 12/07/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/exportacao/eua-corta-pela-metade-expectativa-de-importacao-de-etanol-brasileiro->, acesso em: 12/07/2017.

⁶⁸ - “GranBio, um ano depois: a evolução da primeira usina de etanol celulósico do Brasil”, disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-ano-evolucao-primeira-usina-etanol-celulosico-brasil-101115/>, acesso em: 28/10/2016.

⁶⁹ - “GranBio: usina Bioflex 1 deve voltar a operar em outubro”, disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/usinas/granbio-usina-bioflex-1-deve-voltar-a-operar-em-outubro/>, acesso em: 28/10/2016.

5.3.6 – Outras iniciativas

Além das principais iniciativas no Brasil, que acabamos de apresentar, também surgiram outras iniciativas no período analisado, mas que foram abandonadas.

A Odebrecht Agroindustrial é uma empresa privada de capital fechado com sede em São Paulo (SP), criada em 2007 como um braço da Odebrecht (construção civil) para produção de biocombustíveis. A empresa conta com mais de 10 mil funcionários e possui nove unidades produtivas em quatro estados brasileiros (São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás) com capacidade instalada de 35 milhões de toneladas de cana (Corrêa, 2014).

A empresa possui um projeto de construção de uma planta em escala comercial de etanol celulósico integrada a uma usina de primeira geração com capacidade de produção de 80 milhões de litros a partir do bagaço e da palha, desenvolvida em parceria com a dinamarquesa Inbicon. A tecnologia escolhida para a produção pertence à Inbicon e utiliza bagaço e palha de cana como matéria-prima, pré-tratamento mecânico e hidrotérmico, hidrólise enzimática (com enzimas da Novozymes), e co-fermentação de ambos os açúcares.

O projeto foi financiado pelo BNDES através do PAISS totalizando um investimento de mais de R\$250 milhões e deveria ter sido inaugurado em 2016⁷⁰. Porém, após uma série de endividamentos e escândalos envolvendo a empresa, não se sabe mais quando a planta de segunda geração entrará em operação⁷¹.

A Petrobrás também tentou iniciar um projeto de produção e pesquisa de etanol celulósico, sem muito sucesso. As pesquisas da Petrobrás para a produção de etanol celulósico se iniciaram em 2004 no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES), localizado na Ilha do Fundão (RJ) e evoluíram por meio de parcerias nacionais e internacionais.

Entre as parcerias que mais se destacam até o momento podemos citar o acordo que a empresa fez em 2010 com a americana *Blue Sugars Corporation*, antiga *KL Energy Corporation*. Esse acordo garantiria a exclusividade mútua e o desenvolvimento

⁷⁰ - “Odebrecht Agro prevê usina de etanol celulósico em 2016”, disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/odebrecht-agro-usina-etanol-celulosico-2016-231014/>, acesso em: 06/04/2016.

⁷¹ - “Odebrecht consegue etanol celulósico competitivo, mas futuro da usina é incerto”. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/odebrecht-etanol-celulosico-competitivo-futuro-usina-incerto-050515.a> cesso em: 22/03/2017.

conjunto de tecnologia para a produção de etanol celulósico entre as empresas. A Petrobrás investiu R\$11 milhões para a adaptação e otimização da tecnologia utilizada pela *Blue Sugars* para a produção a partir do bagaço de cana-de-açúcar, na unidade de demonstração da empresa nos Estados Unidos, o qual resultou na produção de 80 mil litros de etanol celulósico de cana-de-açúcar. Além disso era previsto o lançamento de uma planta em escala comercial no Brasil em 2013. A tecnologia desenvolvida com a *Blue Sugars* foi licenciada para a Petrobras em 2012, porém, em 2013 a empresa americana declarou falência (Corrêa, 2014).

O projeto da Petrobras, denominado Petrobras Biocombustíveis (PBio), previa a construção de uma planta em escala comercial em Quirinópolis (GO). Essa planta (São Martinho-PBio) seria anexada a Usina de Boa Vista, que pertence à brasileira Nova Fronteira Bionergia S.A. Essa usina está localizada próxima de onde está sendo construído o alcoolduto que ligará a região aos mercados no sudeste, pela Logum (a qual a Petrobras possui participação acionária). O início das operações da planta era previsto para 2015 (Corrêa, 2014).

Porém, o projeto encontra-se atualmente parado e circula a informação de que a Petrobras estaria interessada em desfazer a parceria com o grupo São Martinho e descontinuar todas as suas pesquisas em etanol celulósico, dado os recentes prejuízos da empresa e seu plano de desinvestimento⁷².

5.4 – A rede do etanol celulósico no Brasil

Através de nosso levantamento e análise, pudemos constatar que a rede formada pelas empresas em torno do etanol celulósico no Brasil é bastante complexa e heterogênea, incluindo diversos atores de diferentes setores, como financeiro (BNDES), tecnológico público e privado (CTBE, IAC, Ridesa, CTC, Vignis), empresarial (Granbio, Raízen, Unica), grupos internacionais (Beta Renewables, Novozymes, DSM, etc) e diversos atores não-humanos (leveduras, enzimas, cana-energia, cogeração, bagaço, palha, etc). Esses atores são fundamentais para o sucesso do E2G e é difícil dizer quais são os mais importantes. Porém, é possível trazer algumas indicações de seus pontos fortes e fracos, assim como os atores mais poderosos dentro dessa rede.

⁷² - NovaCana, “Petrobras quer sair da joint venture com São Martinho”, 29/06/2015. Disponível em: <<http://www.novacana.com/n/industria/usinas/petrobras-quer-sair-sao-martinho>>, acesso em: 27/11/2015.

Podemos destacar as três maiores empresas em termos de produção (Granbio, Raízen e CTC), assim como o principal investidor (o BNDES), e a principal instituição de pesquisa (o CTBE), como os principais atores-rede dessa rede no período estudado (2006 – 2017), os quais têm realizado a maior parte dos esforços e investimentos (ver Tabela 5.2). Esses atores-rede figuram enquanto fortes mediadores de acordo com a teoria (Latour, 2000, 2012), posto que são capazes de controlar e dirigir a maior parte dos recursos, das pesquisas, da produção e da formatação do etanol celulósico no Brasil. Assim, nossa pesquisa indica que depende principalmente desses atores-rede a definição de quanto, como, onde e quando será produzido E2G no Brasil atualmente.

Tabela 5.2 - Principais iniciativas nacionais

Empresa/Variável	GranBio	Raizen	CTC
Capacidade da planta	82 milhões litros/ano	40 milhões de litros/ano	3 milhões de litros/ano
Tipo	comercial	comercial	piloto
Local	São Miguel dos Campos (AL)	Piracicaba (SP)	São Manoel (SP)
Custo total	R\$ 350 milhões (US\$ 190 milhões)	R\$ 231 milhões	R\$ 80 milhões
Financiamento (BNDES)	R\$880 milhões (R\$600 milhões via participação acionária)	R\$207 milhões	R\$ 380 milhões (300 milhões via participação acionária)
Tecnologia processo	PROESA (Beta Renewables – italiana)	logen (logen Corporation - canadense)	Própria (CTC)
Hidrólise (enzimas)	Novozymes (dinamarquesa)	Novozymes (dinamarquesa)	Novozymes (dinamarquesa) e própria
Fermentação (leveduras)	C5 e C6 (DSM - holandesa)	C5 e C6 (logen - canadense)	Apenas C6 (própria)
Pré-tratamento	Hidrotérmico (PROESA, API)	Explosão a vapor (logen)	Vapor e catalisadores (própria)
Matéria-prima	Bagaço (Cana-energia) e palha	Bagaço	Bagaço e palha

Fonte: Elaboração própria a partir de informações colhidas nos sites das empresas; Correa (2014) e Soares (2016).

É importante salientar que o principal investidor dessa rede não são as empresas, mas sim o BNDES, uma instituição financeira estatal. Ao mesmo tempo, quem realiza a maior parte das pesquisas na área também não são as empresas, mas sim as instituições públicas de pesquisa como CTBE e o IAC, os programas de pesquisa como o BIOEN da FAPESP e as universidades com seus programas de pesquisa. Ainda, de acordo com Oliveira Filho (2017) com relação aos esforços de pesquisa e inovação do E2G brasileiro:

(...) O Estado brasileiro, por meio dos ministérios, agências e órgãos públicos de diferentes naturezas, foi o principal ator desse processo, não apenas porque destinou recursos financeiros a todos os projetos de P&D realizados nos anos de 2000, mas porque introduziu inovações institucionais que possibilitaram implementar projetos industriais de E2G, colocando o Brasil em pouco tempo no cenário mundial do E2G (Oliveira Filho, 2017, p. 286).

Outros atores importantes já fizeram parte dessa rede, como a Petrobrás e a Odebrecht Agroindustrial. Porém, com os prejuízos recentes a Petrobrás abandonou seu projeto para focar nos combustíveis fósseis, e a Odebrecht em crise desde 2015 também não tem previsões de continuidade do projeto. Isso traz ainda mais peso às três empresas que ainda investem na segunda geração, tornando-as ainda mais importantes e fortes dentro dessa rede. Somadas, essas empresas possuem plantas com uma capacidade instalada de 125 milhões de litros de E2G por ano, o que torna o Brasil o quarto país do mundo em capacidade instalada de segunda geração, atrás somente dos Estados Unidos, China e Canadá⁷³ (ver tabela 5.2).

Segundo Oliveira Filho (2017), a opção pelas fusões, aquisições e formação de Joint Ventures é também uma tendência no setor, especialmente quanto ao E2G, iniciada por volta do ano 2000 com a entrada do capital estrangeiro no setor e que visa economizar tanto os custos operacionais quanto os custos de aprendizagem das novas empresas.

Através de nosso levantamento bibliográfico e documental, pudemos constatar que as empresas e os pesquisadores brasileiros têm realizado poucos esforços de P&D referentes aos processos básicos de segunda geração, no caso a hidrólise, síntese de celulase (enzimas) e fermentação das pentoses. Apesar dos esforços identificados principalmente no caso do CTC, da GranBio e o CTBE, seus resultados ainda são pouco expressivos em comparação com o resto do mundo, com o depósito de poucas patentes nacionais e ausência de patentes internacionais (Felipe & Rossel, 2010; Souza, 2013; Corrêa, 2014; Murakami, 2015; Souza, 2015). Antes das usinas de 2ª geração entrarem em operação, Souza (2013) já previa que isso pudesse acontecer:

⁷³ - Gazeta do Povo, “Vendido como promessa, etanol de 2.ª geração trava em falta de apoio e pesquisa”, 11/07/2016, disponível em: < <http://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/vendido-como-promessa-etanol-de-2-geracao-trava-em-falta-de-apoio-e-pesquisa-02dj0qhosy5x6rih5hf147bfr>>, acesso em: 29/06/2017.

(...) baixa participação do Brasil entre os principais autores e uma literatura não alinhada com a global. Os processos estão focados em fermentação e não na hidrólise. Ressalta-se que uma possível dependência externa de tecnologia pode tornar-se realidade (Souza, 2013, p. 166).

O CTC, que é atualmente uma empresa voltada à pesquisa e licenciamento de tecnologias, investe no desenvolvimento de um processo próprio de segunda geração, o que inclui pré-tratamento, hidrólise, fermentação e integração de 1ª e 2ª geração (mas não em síntese de enzimas e leveduras), o que gerou 3 patentes até o momento dessa pesquisa. A Granbio conduz esforços em praticamente os mesmos objetos que o CTC em seu laboratório (BioCelere). É ainda importante ressaltar que a Granbio e a Raízen, investem no desenvolvimento de variedades de cana-energia, desenvolvidas por institutos tecnológicos, universidades e empresas de tecnologia, no caso o Vignis, CTC, IAC e Ridesa. Já em relação às instituições públicas de pesquisa, identificamos alguns projetos de pesquisa por parte do CTBE, que até o momento depositou 14 patentes relacionadas ao desenvolvimento de enzimas e hidrólise enzimática, micro-organismos, fermentação e processamento da cana. Porém, a Granbio e a Raízen ainda utilizam tecnologias e micro-organismos importados em todas as etapas de seus processos de segunda geração, o que demonstra a precariedade dos processos nacionais atualmente e a necessidade de mais investimentos.

Historicamente e até os dias atuais, o setor sucroalcooleiro não tem uma tradição de pesquisa industrial, sendo a maior parte das inovações do setor realizada pelos fornecedores de equipamentos, através de simples aquisição de equipamentos ou ainda inovações de caráter incremental, as quais em sua grande maioria se dão através de projetos de engenharia e processos de aprendizados associados a mecanismos *know-how*, *know-who* e *learning-by-doing*, onde prevalece o conhecimento tácito e sem atividades de P&D propriamente ditas (Varrichio, 2012). A exceção fica por conta da área de agricultura, com diversas instituições de pesquisa, como o IAC, a RIDESA e o CTC que juntos já desenvolveram centenas de variedades de cana-de-açúcar, aumentando sua produtividade e resistência por meio de projetos de P&D. Entre eles, ressaltamos o desenvolvimento de variedades de cana-energia, em que o país é pioneiro e avança rapidamente, já produzindo em escala comercial e sendo utilizada para a produção de E2G.

O processo de pré-tratamento - fundamental para se preparar a matéria-prima para as etapas posteriores – apesar de ser um grande gargalo ao E2G brasileiro e mundial atualmente, tem sido intensamente explorado pelas empresas e pesquisadores brasileiros. O maior problema relacionado ao pré-tratamento refere-se à diversidade de matérias-primas utilizadas nas nascentes usinas de E2G. Esses diferentes materiais acarretam diferentes processos de pré-tratamento e na maior parte das vezes (caso das empresas brasileiras Raízen e Granbio) é a própria empresa que desenvolve ou aperfeiçoa esse processo. Segundo os autores, enquanto as tecnologias de hidrólise e fermentação encontram-se em um grau mais elevado de maturidade, o pré-tratamento ainda está em fase de desenvolvimento e muitos experimentos e aperfeiçoamentos ainda devem ser feitos antes de ser considerado um processo estável e confiável. Mesmo futuramente, essas soluções referentes ao pré-tratamento devem ser específicas a cada produtor, exigindo envolvimento e P&D por parte das empresas locais (Bomtempo & Soares, 2016).

Segundo Latour (2012), um actante é um ator (humano ou não-humano) que ainda não possui uma figuração definida. Ainda, esses actantes participam no curso da ação de forma ativa (permitindo, estimulando, sugerindo, influenciando, interrompendo, etc). Do nosso ponto de vista, o pré-tratamento é um actante, ou seja, nesse caso um conjunto de atores não-humanos que ainda não estão estabilizados e cuja agência é fundamental para o bom funcionamento do processo como um todo.

Ainda, como Latour (2012) aponta, os casos de inovação e rupturas (problemas ou distanciamentos) são por excelência as melhores formas de perceber como um actante atua como um mediador (ou seja, modificando o curso da ação) em uma determinada rede, e não só como um intermediário que transporta uma ação. À primeira vista, o pré-tratamento parece ser só um intermediário, uma fase simples do processo onde se limpa e se expõe as fibras do material para a atuação das enzimas na fase seguinte (hidrólise). Porém, quando acompanhamos os casos das empresas (GranBio e Raízen) que estão tendo problemas nesta fase com o excesso de areia restante, fica evidente o quanto o pré-tratamento figura como um forte mediador, peça chave para o funcionamento do processo de segunda geração das usinas, alterando até mesmo as suas expectativas⁷⁴.

⁷⁴ - NovaCana, “Etanol celulósico na encruzilhada: gargalos continuam e usinas atingem, em média, apenas 7% da capacidade”, 31/05/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-celulosico-encruzilhada-gargalos-usinas-7-capacidade-310517>, acesso em: 01/06/2017.

O processo de pré-tratamento adotado pela GranBio (Proesa) é do tipo explosão à vapor licenciado pela BetaRenewables. Porém, o processo original da empresa italiana utilizava arroz como matéria-prima⁷⁵. É a primeira vez que ele é utilizado com a palha de cana-de-açúcar em uma planta comercial. Na medida em que novos atores não-humanos passam a fazer parte da rede do etanol celulósico, no caso a cana brasileira e a sua palha, podemos perceber o quanto esses atores ou actantes são importantes e modificam o curso de ação do processo.

Essa é, portanto, uma oportunidade única para as empresas brasileiras contribuírem com o desenvolvimento do etanol de segunda geração. Na medida em que se faz necessário adaptações no processo de pré-tratamento para a cana-de-açúcar, essas empresas podem contribuir de alguma forma com o desenvolvimento do etanol celulósico, já que a maior parte das outras fases do processo (hidrólise, produção de enzimas e leveduras) parece já estar sendo dominada por empresas estrangeiras (Corrêa, 2014). Apesar das dificuldades que as empresas têm encontrado nessa etapa, o pré-tratamento da cana-de-açúcar deve ser um dos processos que o Brasil deve dominar em um curto prazo e com isso exportar tecnologia.

Um artigo do BNDES (Milanez et al, 2015) apresenta uma análise detalhada dos custos e da viabilidade econômica do etanol de primeira e segunda geração ao longo dos próximos anos, utilizando diversos cenários - com modelos de plantas de segunda geração integradas ou independentes; utilizando cana convencional ou cana-energia em diferentes escalas; e ainda fermentando as pentoses de forma conjunta ou separada. Os resultados indicam que em todos os cenários os custos para produção do E2G são maiores que do E1G no curto prazo, mas se igualam no médio prazo (2021-2025) e se tornam menores que o de 1ª geração no longo prazo (2026-2030), especialmente quando utilizado a promissora cana-energia em maior escala e, em menor grau, processos de

NovaCana, “Granbio paralisa temporariamente sua usina de etanol celulósico”, 05/04/2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-paralisa-usina-etanol-celulosico-050416>, acesso em: 10/05/2016.

NovaCana, “Usina de etanol de segunda geração da GranBio adia planos mais uma vez”, 06/05/2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/usina-etanol-segunda-geracao-granbio-adia-planos-060516>, acesso em: 10/05/2016.

NovaCana, “Futuro brilhante do etanol celulósico está ameaçado”, 01/03/2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/futuro-brilhante-etanol-celulosico-ameacado-010316/>, acesso em: 02/08/2017.

NovaCana, “Mesmo daqui a 10 anos, produção brasileira de etanol celulósico não deve superar 640 milhões de litros”, 16/08/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/10-anos-producao-etanol-celulosico-superar-160817>, acesso em: 16/08/2017.

⁷⁵- BetaRenewables, “Here comes the green revolution”, disponível em: <http://www.betarenewables.com/en/crescentino/here-comes-the-green-revolution>, acesso em: 04/08/2017.

cofermentação das pentoses. Já as plantas de segunda geração integradas apontam um custo muito menor que as independentes, o que sinaliza uma tendência a ser adotada no Brasil. Segundo o coordenador da divisão de inteligência de processos do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Antonio Bonomi:

A tendência é que em médio prazo – em 2025 – o custo de produção do etanol celulósico empate com o de primeira geração e a partir de 2030 o etanol de segunda geração seja mais barato do que o de primeira. *Isso se forem superados os atuais obstáculos agrícolas, industriais e tecnológicos e se o setor sair da estagnação em que se encontra*⁷⁶. (itálico nosso).

É importante ressaltarmos a ressalva que o coordenador do CTBE faz no final, “isso se forem superados os atuais obstáculos agrícolas, industriais e tecnológicos e se o setor sair da estagnação em que se encontra”, o que engloba muitos fatores da maior importância, bastante problemáticos - como expomos em nossa análise - e que são tratados de forma genérica no comentário (“os atuais obstáculos agrícolas, industriais e tecnológicos”), além da crise (ou “estagnação”) do setor, que tem se intensificado nos últimos anos e atualmente sem previsões de melhoria (com todas as esperanças do setor depositadas no incerto Renovabio). Como tratamos na seção 5.1, os atuais obstáculos industriais, como os problemas com o pré-tratamento são desafios que tem surpreendido as usinas de segunda geração mesmo quando se pensava que não seriam fatores problemáticos e, pelo menos até o momento dessa análise, não tivemos notícias de melhorias nessa fase, apenas paralisações, adiamentos e reduções drásticas na produção em relação à capacidade das usinas. Em outras palavras, não há como ter nenhuma certeza de que o etanol de segunda geração será viável em 2025, muito pelo contrário. Segundo Oliveira Filho (2017):

A dinâmica atual dos depósitos de patentes indica uma estabilização na corrida tecnológica do etanol celulósico, dados estes que corroboram as informações e impressões obtidas em campo, pois o presente momento é caracterizado pela aprendizagem, pela adaptação e pelo melhoramento das tecnologias recentemente colocadas em uso em escala industrial. Assim, a euforia característica do início dos anos

⁷⁶ - Agência FAPESP, “Etanol de segunda geração poderá ser economicamente viável a partir de 2025”, 28/09/2017. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/etanol-de-segunda-geracao-podera-ser-economicamente-viavel-a-partir-de-2025/26272/>, acesso em: 02/10/2017.

2000, deu lugar a um processo de reavaliação das metas de produção, de expansão e de novos investimentos. Portanto, compreende-se que este momento em compasso lento (de espera) é resultado dos entraves técnicos encontrados nas primeiras iniciativas de produção do etanol celulósico. Este fato não autoriza dizer que a dinâmica tecnológica cessou, pelo contrário, encontra-se em um estágio de ajuste e de escalonamento, que pode e deve resultar em novos processos de aprendizagem (p. 194).

O comentário acima, assim como as informações e notícias que levantamos em nossa pesquisa apontam que a euforia inicial já passou e as expectativas iniciais - como as 10 usinas que a Granbio pretendia construir até 2022 e as outras 8 usinas que a Raízen planejava construir até 2024 – eram bastante otimistas e exageradas, e não contavam muito com problemas e situações inesperadas. Porém, isso não quer dizer que essas iniciativas estão fadadas ao fracasso, mas sim que provavelmente vão demorar muito mais que o esperado para se tornarem um paradigma no setor sucroenergético.

As palavras do coordenador do CTBE ainda demonstram como os fatores tecnológicos (“os atuais obstáculos agrícolas, industriais e tecnológicos”), ou atores não-humanos em nossa perspectiva, estão atuando como verdadeiros atores (actantes) sobre a caixa-preta do E2G, interferindo de maneira drástica em seu funcionamento e fechamento. Tratá-los marginalmente, como uma leitura superficial da publicação poderia fazer, é o mesmo que ignorar o cerne da controvérsia em torno do E2G, já que uma análise detalhada, que dê a devida importância a esses elementos, demonstra como esses fatores são fundamentais, atuando de forma decisiva no fechamento da controvérsia, interferindo, portanto, nas ações, expectativas e decisões dos demais atores (humanos) como o CTBE, BNDES, MME, e o obviamente as usinas de segunda geração e o setor sucroenergético.

É possível que realmente o E2G se torne viável em 2025, ou que ainda mais problemas apareçam (como o próprio diretor do CTBE já ressaltou) depois de solucionados os problemas com o pré-tratamento (os problemas com o pré-tratamento podem estar camuflando problemas nas fases posteriores (NovaCana, 2016)), já que as usinas trabalham muito aquém da sua capacidade. É ainda possível que o Renovabio seja um sucesso e seja rapidamente colocado em prática, mas também pode demorar ou operar muito aquém das expectativas, ser revogado num próximo governo, esquecido ou muito alterado na fase de regulamentação (o projeto de lei aprovado é genérico e não especifica quase nada), que ainda não há previsão de quando vai acontecer. Enfim, as

expectativas são baseadas em muitas possibilidades e quase nenhuma é possível de se saber com boa margem de segurança.

Essas indicações coletadas em nossa pesquisa revelam que ao mesmo tempo em que o E2G brasileiro está fortemente conectado à uma rede global, como os fornecedores de enzimas, celulasas e tecnologias, ele também depende muito do esforço dos atores locais. Como vimos, os problemas relacionados ao pré-tratamento não devem ser superados sem um grande envolvimento e conhecimento das próprias empresas produtoras e de atores locais, como os fornecedores de equipamentos, as pesquisas do CTBE, o lobby das empresas, o congresso, etc. Por outro lado, a parte mais significativa dos custos de produção do etanol de 1ª e 2ª se refere à matéria-prima (Milanez et al, 2015), e a cana-energia, que deve baratear significativamente esses custos, tem recebido bastante atenção e investimento de diversos atores.

Como vimos na seção 3, o setor sucroenergético é bastante excepcional no que se refere às invenções e inovações. Desde a década de 30 e especialmente a partir dos anos 70 com o Proálcool, empresas do setor privado desenvolviam e produziam equipamentos voltados para a melhoria e aumento de eficiência do processamento de cana e produção de açúcar e etanol. A pesquisa genética e desenvolvimento de novas variedades de cana também foram iniciativas do próprio setor desde a década 60, o que levou inclusive à criação do CTC, mesmo existindo na época um programa público voltado para o desenvolvimento de novas variedades.

Porém, quando analisamos o desenvolvimento das tecnologias de segunda geração, percebemos que esse quadro é um pouco diferente e não se difere muito do modelo de inovação brasileiro, em que as empresas e instituições públicas realizam a maior parte das pesquisas (Dagnino & Dias, 2007; Baumgarten, 2008; Brito Cruz & Pacheco, 2004). Apesar das empresas privadas como a GranBio, o CTC e a Vigni investirem bastante em P&D, especialmente nas áreas em que historicamente já possuem mais afinidade, como desenvolvimento de novas variedades e processamento de cana, a maior parte das pesquisas que envolvem elementos até então exógenos à essa rede, como o desenvolvimento de enzimas e leveduras, ainda são públicas.

Alguns analistas também apontam a necessidade de se investir mais em pesquisa básica, especialmente física, química e biologia, pois é impossível desenvolver os processos de hidrólise e síntese de celulase sem uma compreensão adequada dos mecanismos de atuação das enzimas sobre o material lignocelulósico, assim como o melhoramento genético associados a esses mecanismos (Felipe & Rossel, 2010).

Segundo Oliveira Filho (2017), historicamente as inovações do setor seguiam um modelo incremental, ou DUI-mode (*learning by doing, learning by using, learning by interacting*). Porém, com a entrada do capital estrangeiro e as iniciativas de segunda geração, extremamente avançadas do ponto de vista científico e tecnológico, a tendência é que esse modelo seja gradualmente abandonado e no seu lugar se estabeleça um modo de inovação por P&D, ou STI-mode (*learning by Science, Technology and Innovation*). Porém, o que vemos na prática é que as empresas envolvidas com essas iniciativas pouco investem em P&D, e suas maiores contribuições às tecnologias de segunda geração ainda são decorrentes do modo incremental de inovação (DUI-mode), como as adaptações e melhorias da etapa de pré-tratamento e configurações de produção (por exemplo, integração com 1ª geração ou com cogeração).

Como vimos na seção 3.3, o setor sucroenergético vive um momento difícil desde 2011 quando entrou em vigor a política de contenção de preços da gasolina para controle da inflação, encerrada somente no final de 2014, o que reduziu a competitividade do etanol frente à gasolina e causou grande prejuízo e endividamento do setor. Analistas sugerem que esse fator, aliado à recessão econômica iniciada em 2009 no Brasil, e a falta de uma política clara de longo prazo por parte do governo para o etanol, levou a uma estagnação da produtividade sucroenergética, um fato que segundo recentes análises pode se estender até 2030 (EPE, 2017).

Esse cenário atinge inclusive o BNDES, principal investidor do etanol celulósico na rede brasileira, que em janeiro de 2017 informou um prejuízo de R\$568 milhões em sua carteira de investimentos com o setor sucroalcooleiro⁷⁷. Enquanto em 2009 a instituição aceitou 174 projetos de financiamento para o setor, no primeiro semestre de 2017 foram apenas 13 projetos aprovados, somando somente R\$ 179,8 milhões, a pior marca dos últimos 13 anos (o recorde para o 1º semestre foi em 2010, com R\$ 3,7 bilhões financiados)⁷⁸.

A crise do setor afeta o etanol de segunda geração em duas direções: em primeiro lugar, torna ainda mais urgente políticas de incentivo ao desenvolvimento e

⁷⁷ - NovaCana, “Açúcar e etanol, bens de capital e energia elétrica lideram prejuízos do BNDES”. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/financeiro/acucar-etanol-energia-eletrica-lideram-prejuizos-bndes-090116>, acesso em: 25/05/2017.

⁷⁸ - NovaCana, “BNDES limita investimentos nas usinas de etanol e alcança novo recorde negativo”, 03/08/2017. Disponível em: < https://www.novacana.com/n/industria/investimento/bndes-limita-investimentos-usinas-etanol-recorde-negativo-030817/?kmi=brunolorenzi@gmail.com&utm_source=Etanol&utm_campaign=09a5f5a48e-Fonte_secou_BNDES_2017_08_03&utm_medium=email&utm_term=0_9fda3940f1-09a5f5a48e-71306113>, acesso em: 03/08/2017.

produção de E2G, já que o etanol celulósico pode no médio prazo aumentar a produtividade e competitividade do etanol para as usinas, o que de certa forma ocorreu com o lançamento do Renovabio. Porém, por outro lado, o endividamento atual do setor gera grandes dificuldades de novos investimentos por parte das usinas, especialmente as médias e pequenas, ainda mais volumosas como demandam as tecnologias de segunda geração, o que gera um impasse e pode atrasar significativamente a produção de E2G no Brasil.

A variedade de atores humanos e não-humanos envolvidos na rede do etanol celulósico, como as diferentes matérias-primas, micro-organismos, configurações e processos, trazem uma grande variedade de comportamentos e resultados à rede do etanol celulósico. Diversos atores não-humanos (ou actantes) dessa rede estão ainda num momento de desenvolvimento e definição de seus papéis, como a mecanização da colheita e utilização da palha, a cana-energia, as enzimas e leveduras, o processo de pré-tratamento, entre outros processos e tecnologias que ainda estão em desenvolvimento. Como vimos, esses actantes são fundamentais e interferem diretamente no desempenho do etanol celulósico, como o pré-tratamento, que está atrasando projetos no mundo todo; as enzimas, que ainda representam a maior parte dos custos; ou a cana-energia, que pode alavancar a produção de segunda geração no Brasil. Por esses motivos, o E2G também se mostra uma caixa-preta ainda aberta, com diversos actantes sem uma figuração definida, abertos a novas associações e direções por parte de empresas, governos e tecnologias, o que representa uma grande oportunidade para as empresas nacionais.

A rede do etanol celulósico brasileiro, especialmente em relação aos atores não-humanos (ou actantes), esta ligada a uma rede internacional, parceira ou fornecedora de muitas das tecnologias. Por enquanto, a maior parte das empresas brasileiras interessadas em produzir E2G está focada em dominar o processo de produção, muitas vezes investindo na adaptação para a cana-de-açúcar de processos importados que utilizavam outras matérias-primas, ao invés de desenvolver tecnologias próprias. Se por um lado as empresas estrangeiras como a Novozymes e a BetaRenewables fornecem as enzimas e licenciam seus processos de conversão, contribuindo de maneira fundamental para o processo de produção como um todo, por outro lado as empresas brasileiras tem muito a contribuir tecnologicamente, especialmente no que se refere ao pré-tratamento e à matéria-prima, que são umas das principais questões - se não as principais - envolvendo o E2G mundo afora. A cana-de-açúcar é de longe a matéria-prima mais

produtiva tanto para produção de etanol de primeira geração quanto de segunda geração. Com o desenvolvimento e patenteamento de novas espécies de cana-energia, o Brasil pode contribuir muito com essa rede mundial.

Apesar das fraquezas da rede do E2G brasileira, como as poucas iniciativas que entraram em operação até o momento e a grande mudança de planos das empresas em relação à sua expansão, pouca pesquisa e desenvolvimento comparado ao resto do mundo (realizado quase exclusivamente pelo CTBE), baixíssimo patenteamento, problemas em seu funcionamento, devido principalmente a dificuldades na fase de pré-tratamento, o que reduziu e adiou as expectativas das empresas, a rede do E2G também possui pontos fortes. Como pudemos acompanhar nessa seção, o setor sucroenergético é um forte mediador dentro dessa rede, conseguiu obter volumosos recursos de financiamento do BNDES e será o principal beneficiado com a operação do programa Renovabio, que conseguiu inserir na agenda do governo num curto período de tempo. Essas ações demonstram como o setor sucroenergético continua poderoso dentro do setor de energia, conseguindo traduzir seus interesses em termos de políticas públicas com elevado grau de sucesso e criando pontos de passagem obrigatórios que podem alavancar o setor e por consequência o E2G no médio e longo prazo, mesmo em meio a todas essas dificuldades técnicas.

6 – Considerações finais

Essa tese teve como objetivo mapear e analisar a rede do etanol de segunda geração no Brasil sob o olhar da teoria ator-rede, identificando quais são os principais atores dessa rede, suas alianças, translações, as políticas e programas envolvidos, os atores não-humanos fundamentais dessa rede, assim como seus pontos fortes e fracos, os desafios, incertezas e controvérsias envolvidos.

Começamos pela revisão de nosso referencial teórico, a teoria ator-rede especialmente a partir dos conceitos e visões sobre a dinâmica da ciência e da tecnologia de Bruno Latour, Michel Callon e John Law. Partimos, portanto, do pressuposto de que os artefatos científicos e tecnológicos não são verdades absolutas ou desdobramentos naturais da ciência e tecnologia, mas sim produtos da ação coletiva de uma infinidade de atores-rede - humanos e não-humanos - em um constante movimento de translação: associações, disputas, negociações e cooperação. Sendo assim, quaisquer tecnologias, como o etanol celulósico abordado em nossa análise, podem tomar uma infinidade de rumos e configurações diversas, tanto durante sua formulação e desenvolvimento quanto em suas formas e usos finais.

Além disso, em nossa perspectiva não podemos ignorar a importância e influência dos atores não-humanos em uma rede, tomados aqui como atores - ou actantes - que como o próprio nome sugere, atuam de forma ativa para o funcionamento e sucesso (ou não) de um artefato científico ou tecnológico. Sendo assim, não seria possível descrever e analisar o desempenho das empresas, instituições e programas envolvidos com a pesquisa, desenvolvimento e produção do etanol de segunda geração no Brasil sem levar em conta as diversas tecnologias e elementos não-humanos associados a este combustível avançado, como os micro-organismos necessários, as matérias-primas possíveis, equipamentos e configurações necessários para a sua produção, as diversas incertezas, indefinições e possibilidades inerentes a esses atores, assim como rastrear os atores humanos que os manipulam, modificam e os representam.

Dessa forma, as análises que utilizam a teoria ator-rede tentam trazer à tona uma complexidade muitas vezes esquecida, explorando elementos muitas vezes ignorados, mas cuja importância e interferência no destino final de qualquer artefato ou rede sociotécnica fica evidente após esse cuidado de rastreá-los e colocar em discussão as diversas incertezas e disputas, muitas vezes controversas, que se dão em torno desses elementos.

Também tomamos o cuidado, em consonância com nosso referencial, para não utilizar ou reproduzir determinismos sociais e econômicos, como a crença de que os produtos tecnológicos das sociedades modernas são desdobramentos naturais ou necessários do avanço da ciência e tecnologia ou da sociedade capitalista, ou ainda o modelo linear de inovação. Sendo assim, nos esforçamos para demonstrar como o etanol de segunda geração é atualmente uma caixa-preta aberta: a novas associações, modificações, definições, representações e usos, cujas tendências quando existem são resultado de muito esforço, negociações, disputas e translações que podem assumir diversas figurações e desaguarem em lugares muito diferentes, como uma revolução completa no campo dos combustíveis renováveis ou seu abandono por tempo indeterminado.

Na terceira seção damos início de fato à nossa pesquisa, começando por levantar o histórico do setor sucroenergético no Brasil e das políticas voltadas ao etanol, na tentativa de compreender melhor as origens e as trajetórias dos atores desse setor, muitos dos quais são os mesmos das atuais redes envolvidas com o etanol celulósico. Para tanto, nos esforçamos em aplicar os conceitos da teoria ator-rede às análises e descrições que conseguimos levantar sobre os atores envolvidos com a produção de álcool no Brasil, como a criação da Copersucar e do CTC, e a respeito do Programa Nacional do Álcool (Próalcohol).

A partir desse levantamento e análise pudemos acompanhar as primeiras políticas voltadas para o etanol no Brasil, iniciadas nos anos 30 e posteriormente a consolidação desse setor na região de São Paulo nos anos 40, assim como diversos movimentos de translação interessantes: a criação de importantes atores-rede, no caso a Copersucar e o CTC; as disputas dos usineiros paulistas desde os anos 50 com as políticas do IAA, o que explica em grande parte por que a Copersucar resolveu criar seus próprios laboratórios e investir em pesquisas e tecnologias próprias, dando início ao pioneirismo tecnológico do setor na região; o interesse das usinas paulistas em se modernizar nos anos 60, trazendo especialistas e tecnologias de outros países; e as oportunidades de negócio e o mercado de equipamentos que por conta disso se formou, o que inclui a criação de empresas produtoras de tecnologias como o CTC, a Zanini e a Dedini, que existem e são importantes até hoje.

A pesquisa que fizemos a respeito do Próalcohol também trouxe questões importantes, como a de que o programa não visava somente evitar grandes importações de petróleo e gasolina, o que poderia desequilibrar a economia brasileira, mas tinha

também a função, principalmente em sua segunda fase, de garantir mercado ao setor sucroenergético, que estava sob sério risco na época com as quedas nos preços internacionais do açúcar a partir de 1975. Identificamos os principais atores-rede que fizeram parte do programa, como o setor sucroalcooleiro, que agia como um forte mediador, o governo militar, a indústria automobilística e o CTA. Também pudemos acompanhar as diversas controversias e movimentos de translação envolvidos na criação do programa, como as disputas em torno da matéria-prima que seria priorizada, o formato de produção em usinas anexas ou autônomas, as disputas entre os usineiros e o IAA, a viabilidade do programa em seu final, entre outras questões.

Além disso, trouxemos fatos e análises que demonstram a importância que pesquisadores, institutos tecnológicos, empresas de equipamentos e atores não-humanos (como os motores exclusivos à álcool desenvolvidos pelo CTA) tiveram para o sucesso do programa e do etanol brasileiro. Ao final dessa parte pudemos compreender melhor como o setor sucroalcooleiro cresceu e se fortaleceu no Brasil, tornando-se o que é hoje em dia, inclusive o seu pioneirismo e relativa independência tecnológica, como resultado das ações desse programa, das disputas e dos arranjos que foram se formando desde a década de 50.

Ainda na terceira seção trouxemos um panorama da situação atual do setor sucroenergético brasileiro e sua dinâmica. Por meio do levantamento de dados e análises dos órgãos oficiais como a EPE e ANP, tentamos apontar as tendências atuais e previsões de longo prazo no que se refere à produção de cana-de-açúcar e etanol no Brasil, assim como tratar da recente crise que afetou o setor e suas possíveis causas, o que interfere diretamente no desempenho das usinas atualmente e no futuro do etanol celulósico. Como pudemos acompanhar, a produção de etanol não cresce mais como cresceu de 2003 (com o lançamento do carro flex) até 2009, tendo regredido por alguns anos e permanecendo praticamente estagnada até o momento dessa pesquisa, situação que algumas análises apontam que pode se estender por tempo indeterminado. Diante desse cenário, chegamos a conclusão de que o etanol de segunda geração tanto pode reverter a situação no médio ou longo prazo, elevando o faturamento e lucratividade das usinas, como pode ser prejudicado e abandonado por muito tempo diante do endividamento atual das usinas e a falta de crédito no mercado.

Por fim, abordamos o sistema atual de produção e distribuição do etanol, que parece favorecer as grandes usinas devido à facilidade, economia com transporte e possibilidade de menores margens de lucro devido à grande produção. Além disso, esse

sistema parece contribuir com a concentração do setor na região sudeste/centro-oeste, próxima aos principais centros produtores, distribuidoras e mercado consumidor, além da infraestrutura mais adequada. Ainda, buscamos relacionar esse quadro com os possíveis desdobramentos do etanol de segunda geração obtidos por meio de nossa pesquisa, o que aponta que num primeiro momento ele pode acentuar ainda mais esse cenário posto que é um investimento elevado que poderá ser implementado somente por grandes usinas e aglomerados. Já a cogeração, por ser mais barata e segura, poderia ser adotada por usinas menores e contribuir assim com a viabilidade de microdestilarias, que poderiam contar não só com a produção de açúcar e etanol, mas também com a exportação de eletricidade para o sistema elétrico, o que contribui com a geração distribuída de energia, desconcentração do setor, segurança energética e o meio ambiente.

Na quarta seção abordamos as recentes reformas no setor de energia brasileiro, o que, além das diversas alterações na dinâmica do setor, como a sua desverticalização e criação de um livre mercado de energia, trouxe oportunidades inéditas e permitiu a entrada de novos atores a essa rede, especialmente para o mercado de energias renováveis, como a energia eólica, as pequenas centrais hidroelétricas e a bioeletricidade sucroenergética. Com isso, o setor sucroenergético passou a investir numa nova atividade, muitas vezes modernizando e expandindo suas atividades de cogeração de energia e que hoje contribui com uma grande parte da geração de energia elétrica de nosso sistema.

A partir da nossa pesquisa, apontamos algumas questões envolvidas com essas atividades, como a dificuldade que as usinas menores e mais antigas têm em produzir e investir na cogeração, os problemas relacionados com a elevação de tensão para a rede e a frequente queixa das usinas de escassez de créditos para modernização e investimento em cogeração. Ao final dessa seção, expusemos a controversia envolvendo bioeletricidade e etanol de segunda geração, já que ambos utilizam a mesma matéria-prima para sua produção - o bagaço e a palha da cana - disputando assim os mesmos recursos. Como apontamos, a maior parte das usinas ainda olham para o etanol de segunda geração com cautela, preferindo investir em cogeração e bioeletricidade, que é muito mais seguro e barato atualmente. Além disso, do ponto de vista da segurança energética, a cogeração traz a grande vantagem de ser complementar ao regime hídrico, além de contribuir com uma geração de energia mais distribuída, o que é um grande ponto a favor do investimento público nessas atividades ao invés do E2G.

Na última seção, entramos a fundo no tema de nossa pesquisa, tratando das políticas e das iniciativas nacionais identificadas em nossa pesquisa no período da análise (2010 – 2017), na tentativa de mapear os atores que formam a rede em torno do etanol celulósico no Brasil, incluindo suas alianças, questões envolvidas, disputas, controvérsias e importância dos atores não-humanos. Começamos por desmistificar para o leitor como o etanol de segunda geração pode ser produzido e quais são as rotas, configurações, tecnologias e atores não-humanos fundamentais nesse processo.

Apesar das dificuldades e resultados modestos até o momento, nossa pesquisa identificou que as iniciativas para produção de etanol celulósico mais bem sucedidas até o momento foram da Granbio, da Raízen e do CTC. Somadas, essas empresas colocam o Brasil em quarto lugar no ranking mundial em capacidade instalada de E2G. Entretanto, nossa pesquisa revelou que apenas uma pequena fração (cerca de 10% ou menos) desse potencial anual foi produzida até agora, e o maior problema para a operação dessas plantas ainda são dificuldades na etapa de pré-tratamento. Mais de uma vez essas usinas tiveram suas atividades paralisadas devido a problemas com o tratamento do material, o que adiou diversas vezes suas expectativas. Os representantes da Granbio e da Raízen se recusaram a conversar conosco e comentar suas expectativas devido aos segredos e riscos comerciais. Porém, pelo o que acompanhamos pelas notícias em revistas especializadas, o clima é de grande incerteza, apesar de essas empresas seguirem apostando no E2G e afirmarem que são apenas problemas temporários.

Ficou evidente diante de nosso levantamento que a rota enzimática é a principal tendência atualmente no Brasil e no mundo, sendo a mais utilizada para a hidrólise nas plantas piloto e comerciais em todos os países que investem nessa tecnologia, e a que recebe a maior parte da atenção nas pesquisas e patentes. O maior problema dessa rota ainda é o elevado custo de produção das enzimas necessárias a esse processo, ainda de difícil reciclagem. A partir de nossa pesquisa em relação às iniciativas nacionais, também pudemos constatar que as empresas brasileiras ainda pouco investem em pesquisas nesse processo e no desenvolvimento de enzimas, preferindo licenciar essas tecnologias e importar as enzimas de empresas estrangeiras como Novozymes (dinamarquesa), BetaRenewables (italiana), Iogen Corporation (canadense) e DSM (holandesa). Porém, identificamos que o CTC investe no desenvolvimento de um processo próprio de hidrólise enzimática e a GranBio e o CTBE no desenvolvimento de enzimas, apesar dos resultados ainda tímidos em comparação a outros países.

No entanto, esperamos que tenha ficado claro em nossa análise que não são apenas as enzimas que figuram como importantes actantes nessa rede, sendo que as matérias-primas necessárias e a etapa de pré-tratamento também são fundamentais para a viabilidade do processo como um todo. Nossa pesquisa revelou que as empresas no mundo todo, incluindo as brasileiras, estão tendo muitas dificuldades com o pré-tratamento, o que tem reduzido significativamente o rendimento das usinas e adiando ano após ano as expectativas das empresas e investidores.

Porém, como a TAR aponta, toda questão ou controvérsia envolvendo actantes em uma rede indica que as associações e figurações de uma caixa-preta ainda não estão fechadas, representando ao mesmo tempo um entrave e uma oportunidade. As empresas brasileiras como Granbio, a Raízen e o CTC possuem parcerias com as acima citadas, o que pode gerar interessantes translações com relação a esses processos, especialmente porque os processos de pré-tratamento são muito específicos e a matéria-prima utilizada no Brasil é a mais produtiva e possui o maior potencial de melhoramento.

Esses fatos vão ao encontro da teoria já que, para Latour, a agência é sempre heterogênea, ou seja, nunca é exclusivamente humana, sendo sempre um processo híbrido, formado a partir da atuação dos atores humanos e não-humanos. Dessa forma, o pré-tratamento e a cana-energia podem contribuir na atuação dessas empresas dentro dessa rede e vice-versa.

É fácil dizer após o fechamento de uma controvérsia, em uma análise feita posteriormente, quais foram os fatores decisivos, quais problemas eram apenas marginais ou que determinada política (e seus porta-vozes) foram fundamentais para o seu sucesso. Porém, quando se acompanha uma controvérsia de perto, como nesse caso, podemos perceber como as coisas de fato são muito mais imprevisíveis e incertas do que uma análise posterior poderia retratar, sendo muitas vezes impossível de prever o seu fim ao certo. Por outro lado, uma análise com a proposta pela TAR nos permite perceber como são importantes muito mais fatores do que se poderia imaginar, e que a dinâmica do fechamento de uma controvérsia ou caixa-preta é muito mais híbrida do que as análises tradicionais descrevem, mostrando como os movimentos dos atores de uma rede estão o tempo todo conectados com elementos não-humanos atuantes, e que envolve muita incerteza, que está aberta a amplas negociações (traduções) e arranjos (políticos e tecnológicos) até o seu fechamento, possíveis de serem rastreados somente durante a sua fase de construção ou discussão, posto que posteriormente tudo isso é

esquecido ou apagado nas análises econômicas (dos governos e das empresas), artigos e patentes.

Além da cana-de-açúcar já figurar entre a matéria-prima mais produtiva para o E2G, esse rendimento deve se elevar ainda mais com o desenvolvimento já em fase de comercialização de variedades de cana-energia, que possuem uma produtividade por hectare muito maior comparada às variedades tradicionais, além de poderem ser plantadas em solo mais degradado, com menor uso de água e produzirem uma porção muito maior de fibras lignocelulósicas (bagaço), o que a torna ideal para a geração de E2G e bioeletricidade. Esse actante e suas possíveis figurações podem contribuir não só com o desempenho das usinas brasileiras, mas também representa uma grande oportunidade para empresas e institutos tecnológicos que desenvolvem variedades de cana, como a Vognis, o CTC, o IAC e a Ridesa.

Entre as políticas e programas governamentais de maior importância para a rede e o desenvolvimento do E2G no Brasil identificamos o projeto BIOEN da Fapesp e a construção do CTBE com recursos do MCTI. Porém, os programas com os maiores volumes de recursos destinados para o setor no período analisado e provavelmente os mais importantes para esse rede foram os programas PAISS 1 e 2 do BNDES em parceria com a FINEP, os quais foram fundamentais para o financiamento da construção e operação das primeiras usinas (piloto e comerciais) de E2G, o que coloca esses programas entre os principais mediadores da rede do etanol celulósico no Brasil. O grande volume de recurso desses programas utilizados pelas poucas empresas que investem em P&D e produção de E2G até o momento indica que o setor ainda é muito dependente de financiamentos públicos. Esses fatos demonstram que setor sucroenergético não é uma exceção à regra quando o assunto é investimento em pesquisa e desenvolvimento, o que reforça mais uma vez a importância do Estado para o desenvolvimento da ciência e tecnologia brasileira. Além disso, não podemos esquecer que o E2G ainda é uma aposta muito arriscada, e comparando o nível de recursos que as empresas investiram e o que o BNDES investiu, fica claro que é o BNDES o ator que está assumindo os riscos, e não as empresas.

O lançamento do programa Renovabio também figura entre as políticas mais importantes para o E2G nos próximos anos. Apesar de todas as incertezas a respeito de como o programa irá funcionar, o projeto foi aprovado e deve entrar em vigor ainda em 2018, tornando-se um importante ponto de passagem obrigatório para as usinas e as distribuidoras de combustíveis. Levando em consideração a crise que afeta o setor

sucroenergético nos últimos anos e o endividamento das usinas, o sucesso do Renovabio será decisivo para o fortalecimento do setor e por consequência do E2G. Sendo assim, o Renovabio é provavelmente a política mais importante da rede do E2G no Brasil depois do fim do programa PAISS do BNDES-Finep. O programa deve garantir uma renda adicional às usinas, especialmente aquelas que produzirem E2G, já que isso elevará sua qualificação no programa ao produzirem maior volume de combustíveis renováveis com a mesma quantidade de matéria-prima e emissões de carbono, o que garantirá mais créditos a essas usinas.

Se, por um lado, o Brasil não domina a maior parte das tecnologias de segunda geração, ficando atrás de países que despontam no ranking como EUA e Canadá e outros que estão abaixo de nós em capacidade instalada, como Dinamarca, Itália e Holanda, por outro lado, essa posição reflete o grande interesse e potencial das usinas brasileiras em produzir E2G, devido principalmente à nossa grande produção de cana-de-açúcar (e seu bagaço excedente) e o desenvolvimento da cana-energia. Esse fato também demonstra a importância que os actantes têm em uma rede ou empreendimento, compensando outros fatores que a princípio poderiam parecer decisivos e alterando drasticamente o desempenho e resultado de uma rede.

Os problemas com o pré-tratamento não afetam apenas as usinas brasileiras, sendo um grande entrave nas usinas de segunda geração em outros países. Em nossa opinião, o pré-tratamento é um actante fundamental para o E2G enquanto um artefato tecnológico ou caixa-preta ainda aberta, e essa questão tem duas faces: Por um lado é atualmente um dos maiores entraves dessa rede; mas por outro, representa uma grande oportunidade para o Brasil contribuir com as tecnologias de segunda geração, especialmente devido à matéria-prima que somente essas empresas utilizam, a promissora cana-energia, e a experiência que elas deverão obter a partir desses problemas, podendo futuramente patentear e licenciar processos para o pré-tratamento desse material, como indicam os esforços do CTC.

Outra questão levantada em nossa análise foi a controvérsia envolvendo o etanol de segunda geração e a bioeletricidade sucroenergética, já que ambas as formas de geração de energia disputariam os mesmos recursos, no caso o material lignocelulósico (bagaço e palha da cana). O foco em cogeração de eletricidade nas usinas de etanol também traria diversos benefícios ambientais, contribuiria com a segurança energética e possui um estado da arte muito mais acabado, com fornecedores de equipamentos nacionais, proprietários de tecnologias de ponta que são referência no mundo. Análises

recentes da EPE apontam que as usinas mais novas ou modernas investiram pesado em cogeração e isso deve comprometer o investimento e a produção de E2G nessas usinas no curto prazo, que é visto ainda com receio pela maior parte dos produtores. Por se tratar de uma tecnologia muito mais desenvolvida (inclusive nacionalmente) e segura, o investimento por parte do governo através de programas de pesquisa e financiamentos para adoção e modernização da cogeração e exportação de bioeletricidade para o sistema elétrico pelas usinas de todos os tamanhos (especialmente as menores) provavelmente contribuiria com a desconcentração da produção e diminuição da desigualdade entre as grandes e pequenas usinas ao torna-las mais rentáveis e seguras, afinal seriam três produtos que as usinas poderiam oferecer ao invés dos dois tradicionais (açúcar e álcool).

Isso nos indica que o E2G ainda é uma aposta para o futuro e que a cogeração de energia ainda deve crescer e se desenvolver muito nos próximos anos, dividindo o interesse das usinas com o E2G no longo prazo. Podemos dizer que a cogeração e o E2G fazem parte da mesma rede, disputando a figuração dos mesmos elementos (no caso o bagaço e a palha enquanto combustível para um ou outro), o que torna essa rede ainda mais complexa e heterogênea, com a participação de atores como os fornecedores de equipamentos para cogeração e segunda geração que devem disputar a atenção das usinas nos próximos anos. Por se tratar de um investimento muito elevado e arriscado, as tecnologias de segunda geração devem ser adotadas no início somente por grandes empresas ou ainda através de parcerias entre grandes usinas. Esse fato aponta que o E2G deve num primeiro momento acentuar ainda mais a concentração da produção de etanol na região Centro-Sul, já que somente empresas grandes com elevada capacidade de financiamento (próprio ou apto à captar recursos de terceiros) poderão bancar e usufruir das vantagens de rendimento de segunda geração, tornando o abismo entre as grandes usinas e as pequenas usinas ainda maior, o que afasta ainda mais a almejada desconcentração da produção de etanol no Brasil.

De forma geral, a rede do etanol celulósico brasileira ainda apresenta diversas fraquezas, como as poucas iniciativas que identificamos (somente três em andamento), alto grau de desistência entre essas iniciativas (duas de um total de cinco iniciativas desistiram antes de entrar em operação), pouco investimento (especialmente por parte das empresas), pouca pesquisa e desenvolvimento (realizado quase exclusivamente pelo CTBE e o CTC) baixíssimo patenteamento e muitos problemas em seu funcionamento (como as diversas paralisações devido a falhas em imprevistos no pré-tratamento) com

as expectativas de produção cada vez mais baixas e distantes, fora a crise econômica atual e o grave endividamento do setor, o que complica ainda mais a situação. Porém, como expusemos no final da seção 5, o setor sucroenergético se destaca como um forte mediador dessa rede, sendo capaz até o momento de captar muitos recursos, incluir seus interesses na agenda do governo - o que levou a criação do Renovabio – e mantendo sua importância no setor de energia há mais de 40 anos, desde que foi lançado o Proálcool.

Esses fatos também apontam um deslocamento cada vez maior das atividades do setor sucroenergético do setor de alimentos para o setor de energia, demonstrando sua capacidade de transitar e seu protagonismo dentro do campo das energias renováveis.

Ao final dessa pesquisa, ficou claro para nós que as primeiras expectativas e promessas para o E2G no Brasil eram precipitadas, prometendo muito para muito cedo. Porém, problemas e atrasos são comuns a quase todos os grandes projetos tecnológicos, especialmente no setor de energia, como foram inicialmente os projetos de energia solar e energia eólica nos anos 80, o que não significou seu fracasso ou abandono. O E2G deve se tornar um paradigma no setor sucroenergético na próxima década, dividindo com a bioeletricidade os recursos materiais e financeiros das usinas.

Essa pesquisa traz em suas conclusões mais incertezas e questionamentos do que respostas, o que não deixa de ser importante quando o objetivo é discutir políticas públicas. Muita coisa ainda vai depender do desenvolvimento dessa rede sociotécnica, ou seja, dos atores não-humanos como as enzimas, matérias primas, processos de pré-tratamento, da continuidade e aumento dos financiamentos públicos para pesquisa e produção de E2G, da inclusão de novos atores do setor de pesquisa e universidades além do sucesso ou fracasso das políticas energéticas e tecnológicas ligadas ao setor, especialmente o Renovabio.

Por fim, com base em nossa pesquisa trazemos algumas sugestões de pesquisas: Interesse dos usineiros em investir no E2G em médio e longo prazo; analisar a viabilidade do E2G em comparação com a geração e exportação de bioeletricidade; comparar os ganhos ambientais e sociais (como geração de emprego e desconcentração do setor) entre o E2G e a bioeletricidade; análise do impacto econômico e na matriz energética das diretrizes propostas no programa Renovabio; Impacto do Renovabio para o E2G brasileiro; análise das oportunidades do E2G e cogeração enquanto projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL); impactos da crise e endividamento do setor sucroenergético no futuro do setor e do E2G.

Referências

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) (2014), *Anuária da indústria automobilística brasileira*. Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/anfavea2014/#II>>, acesso em: 26/03/2014.

Agência Nacional do Petróleo (ANP). (2011), *Anuário Estatístico Brasileiro Do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – 2011*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/2436-anuario-estatistico-2011>>, acesso em: 19/05/2017.

ALBARELLI, J. Q. (2013), *Produção de açúcar e etanol de primeira e segunda geração: simulação, integração energética e análise econômica* / Juliana Queiroz Albarelli. -- Campinas, SP. (tese de doutorado)

ALCADIPANI, R.; TURETA, C. (2009). "Teoria Ator-Rede e análise organizacional: Contribuições e possibilidades de pesquisa no Brasil". *Organ. Soc.*, v.16, n.51, Salvador, p. 647-664, out/dez 2009.

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). (1994), *Anuário estatístico 1957/1993*. São Paulo: ANFAVEA, 1994.

BAJAY, S. & BADANHAN, L. (2008), "Energia no Brasil: os próximos dez anos". In: Conferência sobre sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos vinte anos. Campinas, SP> Disponível em: https://www.feagri.unicamp.br/energia/energia2002/jdownloads/pdf/papers/paper_Bajay.pdf, acesso em: 05/12/2017.

BAJAY, S. V. & CARVALHO, E. B., Planejamento indicativo: Pré-requisito para uma boa regulação do setor elétrico. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 3. São Paulo, 1998. Anais. Unicamp / USP / EFEI / SE-SP / SBPE, São Paulo, p. 324-8.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). (2008). *Bioetanol de cana de açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: BNDES, CGEE; 2008.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). (2003). *Ampliação da produção de etanol e co-geração de energia elétrica*. Disponível em: <www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/.../bndes.../alcool_discussao.pdf>, acesso em: 29/06/2015.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). (2008), *Bioetanol de Cana-de-Açúcar Energia para o Desenvolvimento Sustentável*. 1ª Edição ed. Rio de Janeiro, RJ.

BAUMGARTEN, M. (2008), *Conhecimento e sustentabilidade: políticas de ciência, tecnologia e inovação no Brasil contemporâneo*. Porto Alegre: UFRGS / Sulina, ISBN: 978-85-205-0514-4.

BELIK, W. (1985), "A Tecnologia em um Setor Controlado: o caso da agroindústria canavieira em São Paulo". *Cadernos de Difusão de Tecnologia*, Ministério da Agricultura (Brasília), v. 2, n. 1, p 99-133.

BENNERTZ, R. (2009), "Completa ai... com álcool!" O fechamento da controvérsia sobre o combustível automotivo brasileiro, Unicamp, Campinas, SP. (dissertação de mestrado)

BERMANN, C (2001), *Energia no Brasil: para quê? para quem? Crise e alternativas para um país sustentável*. São Paulo, Ed. Livraria da Física, ISBN: 85-88325-06-3.

BIJKER, W.; HUGHES, T.; PINCH, T. (orgs.) (1993), *The social construction of technological systems*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1993

BITTENCOURT, J. M. (2008), *Perspectiva do uso do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia elétrica*. Joinville, SC, UDESC. (monografia de graduação)

BLOOR, D. (1988), *Conocimiento e imaginario social*. Barcelona: Gedisa.

BLOOR, D. (1999), "Anti-Latour". *Stud. Hist. Phil. Sci.*, Vol. 30, No. 1, pp. 81–112.

BOMTEMPO, J. V.; SOARES, G. (2016), "Por que as primeiras plantas comerciais de etanol 2G são quase xperimentais". *Blog Infopetro*, 19/10/2016. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2016/10/19/por-que-as-primeiras-plantas-comerciais-de-etanol-2g-sao-quase-experimentais/>>, acesso em: 14/11/2016.

BRAGATTO, J. (2010), *Avaliação do potencial da casca do Eucalyptus spp. para a produção de bioetanol*. USP, Piracicaba, SP. (tese de doutorado)

BRITO CRUZ, C. H.; PACHECO, C. A. (2004), *Conhecimento e inovação: desafios do Brasil no século XXI*. Instituto de Física (IFI) Unicamp, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~brito/artigos/inte-pacheco-brito.pdf>>, acesso em: 31/07/2017.

BUENO, R. (1980), *Rumo ao desastre*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Vozes.

CALÁS, M.; SMIRCICH, L. (1999). "Past postmodernism? Reflection and tentative directions". *Academy of Management Review*, Ada, Ohio, v.24, n.4, p.649-671.

CALLON, M, (1987), "Society in the Making: The Study of Technology as a Tool for Sociological Analysis". *The Social Construction of Technological Systems*. London, England, The MIT Press.

CALLON, M. (1980) "The State and technical innovation: A case study of the electrical vehicle in France". *Research Policy*, n. 9

Callon, M. (1980b), "Struggles and Negotiations to define what is Problematic and what is not: the Sociology of Translation", p. 197-219 in Karin D. Knorr, Roger Krohn, and Richard D Whitley (eds), *The Social Process of Scientific Investigation: Sociology of the Sciences Yearbook*, 4, Dordrecht and Boston, Mass.

CALLON, M. (1986), "Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fisherman of St Brieuc Bay", *The sociological review*, Volume 32, Issue S1 p. 196–233.

CALLON, M. (1991), "Techno-economic Networks and Irreversibility". In LAW, John (Ed.) *The Sociological Review Monograph 38 - Sociology of Monsters: Essays on Power, Technology, and Domination*. Routledge: London, 1991.

CALLON, M. (1998), *The Laws of the Markets*. London: Blackwell Publishers.

CALLON, M. (2008), "Dos estudos de laboratório aos estudos de coletivos heterogêneos, passando pelos gerenciamentos econômicos" (Entrevista). *Sociologias*, Porto Alegre, ano 10, nº 19, jan./jun. 2008, p. 302-321.

CAMILLO, E. V. (2013), *As políticas de inovação da indústria de energia eólica: uma análise do caso brasileiro com base no estudo de experiências internacionais* / Edilaine Venancio Camillo. – Campinas, SP. (tese de doutorado)

CARDOSO, T. de S. *A Epistemologia da mediação em Bruno Latour*. PUC, SP. (tese de doutorado)

CARDOSO, V. M. (2008). *Aplicação da radiação de feixe de elétrons como pré-tratamento do bagaço da cana-de-açúcar para hidrólise enzimática da celulose*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo. (dissertação de mestrado).

CARVALHO, C. B. (2005), *Avaliação crítica do planejamento energético de longo prazo no Brasil, com ênfase no tratamento das incertezas e descentralização do processo*. Unicamp, Campinas, SP. (tese de doutorado)

CARVALHO, S. P. (2014). "O setor elétrico brasileiro". *Portal Diário do Aço*, 05/09/2014. Disponível em: < <http://www.diariodoaco.com.br/noticia/84737-7/opiniaio/o-setor-eletrico-brasileiro>>, acesso em: 26/02/2015.

CARVALHO, S. P.; CARRIJO, E. L. (2007), "A produção de álcool: do PROÁLCOOL ao contexto atual". XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Londrina, julho de 2007. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/6/685.pdf>>, acesso em: 15/07/2014.

CASTRO SANTOS, M. H. (1987), "Fragmentação e informalismo na tomada de decisão: o caso da política do álcool combustível no Brasil autoritário pós-64". *Dados - Revista de Ciência Sociais*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, 1987, p. 73-94.

CASTRO SANTOS, M. H.C. (1993), *Política e Políticas de Uma Energia*

Alternativa: O caso do PROÁLCOOL. Rio de Janeiro: NOTRYA.

CASTRO, N. J.; DANTAS, G. de A; BRANDÃO, R.; LEITE, A. L. S. (2008) *Bioeletricidade e a Indústria de Álcool e Açúcar: possibilidades e limites.* Synergia. Rio de Janeiro, RJ.

CASTRO, N.; BRANDÃO, R.; DANTAS, C. (2010), "A bioeletricidade sucroenergética na matriz elétrica". In: SOUSA, E.; MACEDO, I. (Orgs.). *Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética.* São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, p. 136-156.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) (2009), *Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil.* Brasília, DF. Disponível em: <https://www.cgEE.org.br/documents/10182/734063/5Bioetanol+de+Cana+de+A%C3%A7ucar+2009_6407.pdf>, acesso em: 05/12/2017.

COHEN, M.D.; MARCH, James G.; OLSEN, Johan P. (1972). "A Garbage Can Model of Organizational Choice". *Administrative Science Quarterly*, 17 (pp. 1-25).

COLLINS. Harry. M.; PINCH, Trevor. J. (2003), *O Golem: O Que Você Deveria Saber Sobre Ciência.* São Paulo: Editora UNESP.

COLLINS. Harry. M.; PINCH, Trevor. J. (2016), *O Golem: O Que Você Deveria Saber Sobre Tecnologia.* São Paulo: Editora UNESP.

COLLINS, H.; KUSCH, M. (2010), *A forma das ações.* Fabrefactum, Belo Horizonte, MG.

COLLINS, H; YEARLEY, S. (1992) "Epistemological Chicken". In :Andrew Pickering (ed.), *Science as Practice and Culture.* University of Chicago Press. pp. 301.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2012). *Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2012 -* Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_09_15_07_05_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf> acesso em: 06/11/2014.

CONDEPE. (1992), *Policultura e Produção de alimentos na zona canavieira de Pernambuco.* Recife.

CORRÊA NETO, V; RAMON, D. (2002), *Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de CoGeração no Setor Sucroalcooleiro.* Setap. Brasília, DF.

CORRÊA, C. B. (2014), *Parcerias estratégicas tecnológicas em projetos de etanol celulósico: oportunidades e desafios para as firmas nacionais.* Campinas, SP. (dissertação de mestrado).

CORTEZ, L. B, GÓMEZ, E. O., SOUZA, R. T. G., ROCHA, G. M. R, ALMEIDA, E. A. (2010). "A palha da cana-de-açúcar como matéria-prima para processos

de segunda geração”. In: CORTEZ, L. B. (coord). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. Editora Blucher, São Paulo:, 2010, p. 637-660.

CORTEZ, L. B. (coordenador). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, 2010.

COSTA, C. V. (2006). *Políticas de promoção de fontes novas e renováveis para a geração de energia elétrica: lições da experiência europeia para o caso brasileiro*. Universidade do Rio de Janeiro (URJ), RJ.

DAGNINO, R.; DIAS, R. (2009), "A Política de C&T Brasileira: três alternativas de explicação e orientação". *Revista Brasileira de Inovação*, [S.l.], v. 6, n. 2 jul/dez, p. 373-403, ago. 2009. ISSN 2178-2822. Disponível em: <<http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/rbi/article/view/324/243>>. Acesso em: 31 maio 2017.

DELEUZE, G.; GUATTARI, F. *Mil platôs: capitalismo e esquizofrenia 2*. São Paulo : Editora 34.

DIAS, R. B. (2012), *Sessenta anos de política científica e tecnológica no Brasil*. Campinas, Editora, Unicamp, 2012. ISBN: 978-85-268-0993-2

DUNHAM, F. B.; BOMTEMPO, J. V.; FLECK, D. L. (2011), “A estruturação do sistema de produção e inovação sucroalcooleiro como base para o Proálcool”. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, SP, 10 (1), p. 35-72 janeiro/junho, 2011.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2007), *Plano Nacional de Energia 2030*, 2013. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf> acesso em: 06/11/2014.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2013), *Plano Decenal de Expansão de Energia 2022*, 2013. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/20140124_1.pdf> acesso em: 06/11/2014.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2014), *Plano Decenal de Expansão de Energia 2023*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pdee/forms/epeestudo.aspx>> acesso em: 10/08/2016.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2014b), *Balanço Energético Nacional 2014*. disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf> acesso em: 29/06/2015.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2015), *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pdee/forms/epeestudo.aspx>> acesso em: 10/08/2016.

Empresa de Pesquisa energética (EPE) (2016), *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis Ano 2015, 2016*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Petroleo/Paginas/EPEpublicaAnálise.aspx?CategorialID>>

=>, acesso em: 19/05/2017.

Empresa de Pesquisa energética (EPE) (2017), *Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto: Versão Estendida 2030*, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/EPE-DPG-SGB-Bios-NT-02-2016-r1_Cenários%20de%20Oferta%20de%20Etanol.pdf>, acesso em: 25/05/2017.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2017), *Plano Decenal de Expansão de Energia 2026*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pdee/forms/epeestudo.aspx>> acesso em: 10/08/2017.

ENSINAS, A. V.; ARNAO, J. S.; NEBRA, S. A. (2010), "Aumento de eficiência energética em plantas produtoras de açúcar, etanol e energia elétrica". In: CORTEZ, L. B. (coord). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, 2010. p. 583 - 600.

FELIPE, M. A.; ROSSEL, C. V. (2010), "Roadmap Tecnológico para o Etanol". In: CORTEZ, L. B. (coord). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, 2010. p. 909-918

FERREIRA, C. K. L. (2000), "A privatização do setor elétrico no Brasil". In: PINHEIRO, A. C.; FUKASAKY, K.. (Orgs.). *A privatização no Brasil: o caso dos serviços de utilidade pública*. São Paulo: OCDE/BNDES, 2000, v. , p. 179-220.

FERREIRA, P. L.; GUERRA, S. M.; JANNUZZI, G. (1998), "Natureza e perspectivas da crise da agroindústria sucroalcooleira". São Paulo: Ática.

FINGUERUT, J. (2010), "O Etanol de segunda geração é o pré-sal da cana-de-açúcar". Entrevista concedida à União da Indústria da cana-de-açúcar (ÚNICA), em 09/02/2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/entrevistas/1400254292036840361/o-etanol-de-2-por-centoC2-por-centoAA-geracao-e/>>, acesso em: 07/11/2014.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT), 2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>, acesso em: 06/11/2014.

FOUCAULT, M. (1979), *Microfísica do poder*. Organização e tradução de Roberto Machado. Rio de Janeiro: Edições Graal, 1979.

FOUCAULT, M. (1999). *Vigiar e Punir*. Editora Vozes, 20ªed, Petrópolis, RJ.

FREIRE, L. L. (2006), "Seguindo Bruno Latour: notas para uma antropologia simétrica". *Comum*. janeiro/junho, 2006, Vol. 11, 26.

FREIRE, L. L. (2013), "A ciência em ação de Bruno Latour". *Cadernos IHU ideias*. Ano 11, 2013, nº 192.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. G.; CORTEZ, L. B. (2008), "Innovation system in the Brazilian cane agroindustry". *Paper presented in the IV Globelics Conference at Mexico City*. Sept. 22-24, 2008

GALBE, M.; ZACCHI, G. (2010), "Produção de etanol a partir de materiais

lignocelulósicos". In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, p. 697-750.

GARFINKEL, H. (1967), *Studies in Ethnomethodology*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall pll.

GIAMBIAGI, F.; Villela, A.; BARROS DE CASTRO, L.; HERMANN, J. (orgs.). (2005), *Economia Brasileira Contemporânea*. Campus, Rio de Janeiro, RJ.

GIESBRECHT, M. (2013), *Sustentabilidade como política pública: o caso do biosiesel no Brasil*. Campinas, Unicamp, 2013.

GIORGIO, R. C. (2017), *Estabelecimento de parcerias entre instituições de pesquisa e indústria em projetos de alto risco: o caso do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol*. Unicamp, Campinas, SP. (tese de doutorado)

GOLDEMBERG, J. & LUCON, O. (2006), "Energia e meio ambiente no Brasil". *Revista Estudos Avançados* 59 - Dossiê de energia, 2006. Disponível em <http://www.fcmc.es.gov.br/download/Energia_meioambiente.pdf>, acesso: 06/11/2014.

GOLDEMBERG, J. (2000), "Pesquisa e desenvolvimento na área de energia". *São Paulo Perspec.* [online]. 2000, vol.14, n.3 [cited 2016-08-02], pp.91-97. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000300014&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0102-8839. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-88392000000300014>.

GOLDEMBERG, J. (2008), *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: EDUSP.

GOMES, R. D. M. (2003), *Pesquisa & Desenvolvimento de Interesse Público e as Reformas no Setor Elétrico Brasileiro*. Unicamp, Campinas, SP. (dissertação de mestrado)

GROSSI, E. C. (2015), *Produção de etanol de segunda geração a partir de um derivado de celulose*. Universidade de Brasília (UNB), DF. (dissertação de mestrado).

HAMELINCK, C.N.; VAN HOOIJDONK, G.; FAAIJ, A.P.C. (2005), "Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long-term". *Biomass and Bioenergy*, v. 28, pp. 384-410, 2005.

HESS, D. (2001), "Ethnography and the development of science and technology studies", In: P. Atkinson *et al.* (orgs.), *Handbook of ethnography*, Londres, Sage.

INGOLD, T. (2008), "When ANT meets SPIDER: social theory for arthropods". In: KNAPPETT, C.; MALAFOURIS, L. (Ed.). *Material agency: towards a non-anthropocentric approach*. New York: Springer, 2008. p. 209-215

JOÃO, I; PORTO, G; Galina, S. (2012), "A posição do Brasil na corrida pelo etanol celulósico: mensuração por indicadores C&T e programas de P&D". *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas (SP), 11 (1), p.105-136, janeiro/junho 2012

KINGDON, J. W. (1995). *Agendas, Alternatives, and Public Policies*. 2nd Edition. Harper Collins College Publishers. in SARAVIA, Enrique; FERRAREZI, Elisabete. *Políticas Públicas – Coletânea Volume* , 2007.

KITAYAMA, O. (2008), "Bioeletricidade: perspectivas e desafios". In: *III Seminário Internacional do Setor de Energia Elétrica – GESEL/IE/UFRJ*. Rio de Janeiro, 2008.

KNORR-CETINA, K. (2005), *La fabricación del conocimiento: Un ensayo sobre el carácter constructivista y contextual de la ciencia*. Universidad Nacional de Quilmes, 2005.

KOHLHEPP, G. (2010), "Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil". *Estudos avançados*, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000100017&lng=en&nrm=iso>. acesso em:25/11/2016.

KUHN, T. (2005), *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo, Editora Perspectiva.

LASSWELL, H. (1956) "The Political Science of Science: An Inquiry into the Possible Reconciliation of Mastery and Freedom." *American Political Science Review* 50: 961–979, 1956.

LATOUR, B. & WOOLGAR, S. (1997), *A Vida de Laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará.

LATOUR, B. (1988). *The Pasteurization of France*. (Trads. Alan Sheridan; John Law). Cambridge: Harvard University Press.

Latour, B. (1993), *We Have Never Been Modern*. New York: Harvester.

LATOUR, B. (1994), *Jamais Fomos Modernos*. Rio de Janeiro. Ed. 34, 1994.

LATOUR, B. (2000), *Ciência em ação: Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo, UNESP, 2000.

LATOUR, B. (2001), *A Esperança de Pandora: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos*. Bauru, SP. EDUSC, 2001.

LATOUR, B. (2012), *Reagregando o Social: uma introdução à teoria do Ator-Rede*. Salvador: Edufba; São Paulo: Edusc, 2012.

LATOUR, B; CALLON, M.(1992), "Don't throw the baby out with the bath school! A reply to Collins and Yearley". In: In Andrew Pickering (ed.), *Science as Practice and Culture*. University of Chicago Press. pp. 343--368 (1992).

LAW, J. (1999), "Actor Network Theory and After", *Blackwell and Sociological Review*, Oxford, 1999

LAW, J. (2003). "Notes on the Theory of the Actor Network: Ordering, Strategy and Heterogeneity. *Centre for Science Studies*, Lancaster University, Lancaster LA1 4YN, Disponível em: <<http://www.comp.lancs.ac.uk/sociology/papers/Law-Notes-on-ANT.pdf>> acesso em: 29/06/2015.

LAW, J. (2007), *Actor Network Theory and Material Semiotics*, version of 25th April 2007, available at <http://www.heterogeneities.net/publications/Law2007ANTandMaterialSemiotics.pdf>

LEAL, M. V. (2010), "Cana-energia". In: CORTEZ, L. B. (coord). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, p. 751-760.

LEAL, M. V. (2010), "Evolução tecnológica do processamento da cana-de-açúcar para etanol e energia elétrica", in: CORTEZ, L. B. (coord). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, p.561-576.

LEMOS, A. (2013), *A comunicação das coisas: teoria ator-rede e cibercultura*. São Paulo, Annablume.

LINDBLOM, C. (1979), "Still Muddling, Not Yet Through". *Public Administration Review*, 39 (6), Nov-Dec, pp. 517-526. In Heidemann, Francisco G. e Salm, José F. (2009) *Políticas Públicas e Desenvolvimento: bases epistemológicas e modelos de análise*. Brasília, UnB (pp. 181-202).

LOPES, M., SILVA, A., CONEJERO, M. (2010). "Fluxos e poder nos canais de distribuição de etanol carburante: um estudo qualitativo no estado de São Paulo". *Revista de Administração*, São Paulo, v.45, n.4, p.356-372, out./nov./dez. 2010. ISSN 0080-2107

LORENZI, B. R. (2012), *Em busca de alternativas energéticas: estudo sobre as pesquisas em células combustíveis no Brasil*. São Carlos, UFSCar. (dissertação de mestrado)

LYNCH, M. (1985), *Act and artifact in laboratory of science*. Londres: Routledge.

LYND, L. R. (1996), "Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy". *Annual Review of Energy and the Environment*, v. 21, p. 403-465, 1996.

MACEDO, I. C. (2001), *Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento*, Relatório para o MCT, CGEE, Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.cgEE.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf>, acesso em: 06/12/2017.

MAGALHÃES, P. G.; BRAUNBECK, O. A. (2010), "Colheita de cana-de-açúcar

e palha". In: CORTEZ, L. B. (coord). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, p. 465-476.

MAIA, B. A. A. (2010), *Política de inovação do etanol celulósico*. UFRJ, RJ, 2010. (dissertação de mestrado)

MANTEGA, G. (1997), "O Governo Geisel, o II PND e os Economistas por Guido Mantega". EAESP-FGV, Relatório de Pesquisa nº 3.

MARCO, C. (1991), *O oligopsônio açucareiro paulista: das refinarias às cooperativas*. Universidade Metodista de Piracicaba, SP. (monografia de graduação).

MARIOTONI, M, A. (2004), *O Desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro no estado de São Paulo (1975-1985)*. Unicamp, Campinas, SP. (dissertação de mestrado)

MAYA, C. (1990), *A CNI e o PROÁLCOOL reafirmando uma posição perante a nação*. Salvador – BA: Ática.

MELO, F. H.; FONSECA, E. G. (1981), *Proálcool, Energia e Transportes*. Pioneira, FIPE, São Paulo, SP.

MICHELLON, E.; SANTOS, A. L.; RODRIGUES, J. A. (2008), "Breve Descrição do Proálcool e Perspectivas Futuras Para o Etanol Produzido no Brasil". *XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. Rio Branco – Acre, julho de 2008. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/574.pdf>>, acesso em 15/07/2014.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; GARCIA, J. F.; XAVIER, C. O. (2010) *Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros*. BNDES Setorial, 31, 0p. 49-98.

MILANEZ, A., NYKO, D., VALENTE, M., SOUSA, L., BONOMI, A., JESUS, C., WATANABE, M., CHAGAS, M., REZENDE, M., CAVALETT, O., JUNQUEIRA, T., GOUVEIA, V. (2015). "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*, p. 237-294.

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). (2007). *Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional*. Plano de Ação 2007-2010 (PACTI). Disponível em: <www.mct.gov.br/upd_blob/0021/21439.pdf>, acesso em: 29/06/2015.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). (2011). *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015 (ENCTI)*. Disponível em: <www.mct.gov.br/upd_blob/0218/218981.pdf>, acesso em: 29/06/2015.

Ministério de Minas e energia (MME), (2017), *Renovabio Diretrizes Estratégicas - Proposta para consulta pública*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/consultas-publicas;jsessionid=448C900113C1CD6E81245CFCC4F4E0E8.srv154?p_auth=7dnXoOXw&p_p_id=consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet&p_

p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_consultaldNormal=26&_consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_javascript.action=downloadArquivo>, acesso em: 12/05/2017.

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MP). (2011). *Orientações para Elaboração do Plano Plurianual 2012-2015*. Disponível em: <http://antigo.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spi/publicacoes/Orientacoes_para_Elaboracao_do_PPA_2012-2015.pdf>, acesso em: 29/06/2015.

MP, Ministério do Planejamento. (2012), *Plano Plurianual 2012-2015*. Disponível em: <<http://www.mcti.gov.br/acoes-e-programas>>, acesso em: 12/02/2015.

MURAKAMI, T. G. L. (2015), Trajetórias tecnológicas na etapa de hidrólise enzimática para a produção de bioetanol de 2ª geração. Unicamp, Campinas, SP. (Tese de doutorado)

NEGRI, B. (1977), Um estudo de caso da indústria nacional de equipamentos: análise do grupo Dedini (1920-1975), Unicamp, Campinas, SP. (dissertação de mestrado).

NITSCH, M. (1991), "O Programa de biocombustíveis Proalcool no contexto da estratégia energética brasileira". *Revista de Economia Política*, Vol. 11, nº2, abril-junho de 1991.

NovaCana, (2016), *Futuro brilhante do etanol celulósico está ameaçado*, 01/03/2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/futuro-brilhante-etanol-celulosico-ameacado-010316/>, acesso em: 02/08/2017

NovaCana, (2017), *Etanol celulósico na encruzilhada: gargalos continuam e usinas atingem, em média, apenas 7% da capacidade*, 31/05/2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-celulosico-encruzilhada-gargalos-usinas-7-capacidade-310517>, acesso em: 01/06/2017

NYKO, D. FARIA, J. MILANEZ, A. CASTRO, N. BRANDÃO, R. DANTAS, G. (2011), "Determinantes do baixo aproveitamento do potencial elétrico do setor sucroenergético: uma pesquisa de campo". *BNDES Setorial* 33, mar, p. 421-476.

NYKO, D.; GARCIA, J. F.; MILANEZ, A. Y.; DUNHAM, F.B. (2010). "A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada". *BNDES Setorial*, n. 32, set, p.5-48.

OGEDA, T. L; PETRI, D. F. S. (2010). "Hidrólise enzimática de biomassa". *Química Nova*, v.33, n.7, p.1549-1558.

OLALDE, A. R. (1992). Capacitação Tecnológica na agroindústria canavieira: o caso da Copersucar. Unicamp, Campinas, SP. (dissertação de mestrado).

OLIVEIRA FILHO, A. A. (2017), *Mudanças e permanências no Sistema Setorial de Inovação da cana-de-açúcar : o caso do etanol celulósico*. Unicamp, Campinas, SP. (tese de doutorado)

OLIVEIRA, M. (2012), "Entre açúcares e genes". *Revista Pesquisa Fapesp*, ED. 200 out/2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/entre-acucares-e-genes/>>, acesso em: 04/07/2017.

OLIVEIRA, R. F. (2004), *PROÁLCOOL: Fonte alternativa de energia*. Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, 2004. (monografia de graduação)

Organização das Nações Unidas (ONU) (1987), *Our Common Future*. Disponível em: <http://www.google.com.br/search?client=opera&rls=pt-BR&q=onu&sourceid=opera&ie=utf-8&oe=utf-8&channel=suggest> (acesso em 26/03/2014)

Organização das Nações Unidas (ONU) (2015), *Adoption Of The Paris Agreement*. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>, acesso em: 17/07/2017.

Organização das Nações Unidas (ONU), (1998), *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention On Climate Change*. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>, acesso em: 12/05/2017.

Organização das Nações Unidas (ONU), (2012), *O futuro que queremos*. Declaração final da conferência das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável (RIO +20), 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/O-Futuro-que-queremos1.pdf>>, acesso em: 26/03/2014.

PAIXÃO, M. (2003), "O PROÁLCOOL enquanto uma política alternativa: uma resenha crítica", 2003. Disponível na internet. <<http://www.rits.org.br/pbsd>>, acesso em: 15/07/2014.

PETROBRAS, (2017), *Relatório Técnico Petrobras. RenovaBio - Diretrizes Estratégicas para Biocombustíveis* – Petróleo Brasileiro S.A. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/7948694/PETROBRAS.pdf/588fc61d-adb0-4d34-98bb-e5fdc879f228;jsessionid=B864FC6ADFAF52CE4994842CB771760B.srv154>>, acesso em: 11/05/2017.

PIRES, FERNANDES Y FERNANDES, BUENO (orgs.) (2006), *Política Energética para o Brasil: propostas para o crescimento sustentável*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira.

Rabelo, S. C. (2010), *Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração*. Unicamp, Campinas, SP. (tese de doutorado)

- RIFKIN, J., (2003) *A economia do hidrogênio*, São Paulo, M.Books.
- ROSA, S. S.; GARCIA, J. F. (2009). "O etanol de segunda geração: limites e oportunidades". *Revista do BNDES* 32, dez 2009.
- Rossell et al. (2014) "Second-generation ethanol (GII). The contribution of CTBE". *BMC Proceedings* 2014 8(Suppl 4):O39, 2014.
- ROSSELL, C. (2006), "O setor sucroalcooleiro e a produção de etanol: transformações após o Protocolo de Kioto". *Grupo Energia - Projeto Etanol (MCT/NIPE)*. Unicamp, SP. Disponível em: <http://www.coriunicamp.br/BrasilJapao3/Palestras/carlos_rossell.ppt>. Acesso em: 12/04/2017.
- SAFATLE, F. N. (2011). *A economia política do etanol. A democratização da agroenergia e o impacto na mudança do modelo econômico*. Alameda, SP. ISBN 978-85-7939-046-3.
- Santos, G. F. (2010), *Política energética e desigualdades regionais na economia brasileira*. - USP, São Paulo, SP. (Tese de doutorado)
- SAUER, I. (2013). "Política Energética". *Estudos Avançados* v.27 n.78. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000200015>, acesso em: 07/12/2017.
- Scandiffio, M. I. G. (2005), *Análise prospectiva do álcool combustível no Brasil – cenários 2004-2024.*-- Unicamp, Campinas, SP. (tese de doutorado)
- SEABRA, J. E. A. (2008). *Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações*. Unicamp, Campinas, SP. (tese de doutorado)
- SERRES, M. (1974), *La Traduction*, Hermes III, Paris: Les Éditions de Minuit, 1974.
- SILVA, G. (2013), *Aprendizado do etanol celulósico no Brasil: o caso do projeto Dedini Hidrólise Rápida (DHR)*. Unicamp, Campinas, SP. (dissertação de mestrado)
- SOARES, G. A. (2016), *O avanço das tecnologias de segunda geração e seus impactos na indústria do etanol*. UFRJ, RJ. (dissertação de mestrado)
- SOARES, P.A; VAZ ROSSELL, C.E. (2007), "Conversão de celulose pela tecnologia Organosolv". *NAIPPE* - USP, Vol. 3 - Nova Série, São Paulo, SP.
- SOLOMON, B. D.; BARNES, J. R.; HALVORSEN, K. E. (2007), "Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy". *Biomass and Bioenergy*. v. 31, p. 416-425.
- SOUZA, L. G. A. (2013). *Redes de Inovação em etanol de segunda geração*. USP, SP. (tese de doutorado)
- SOUZA, MORAES, DAL POZ et al. (2015). "Collaborative Networks as a

measure of the innovation system in second-generation ethanol". *Scientometrics*, May 2015, v. 103, ed. 2, p. 355-372. DOI 10+1007/s1198-015-1553-2.

TARDE, G. (2003), *Monadologia e sociologia*. Petrópolis : Vozes. ISBN 85.326.2877-X

TAURINHO, O. A. F. FERREIRA, L. R.; PIMENTEL, R. F. "Agricultura e Produção de Energia: Um Modelo de Programação Linear para Avaliação do PROÁLCOOL". *Pesquisa e Planejamento Econômico*. Rio de Janeiro, RJ.

TOLMASQUIM, M. (2011). *Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro*. Rio de Janeiro: Synergia; EPE: Brasília, DF.

TOLMASQUIM, M. (2012). "Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil". *Estudos Avançados*, v.26, n.74, p.1-14.

TOLMASQUIM, M.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. (2007). "Matriz Energética Brasileira: uma prospectiva". *Novos Estudos*, São Paulo, n. 79, p. 47-69, nov. 2007.

União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) (2007), *Produção e uso do etanol combustível no Brasil*. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/etanol/producao_etanol_unica.pdf>, acesso em: 15/07/2014.

União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) (2016), *A Bioeletricidade em números*. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=36562050>>, acesso em: 01/09/2016.

VARGAS, E. V. "Multiplicando os agentes do mundo: Gabriel Tarde e a sociologia infinitesimal". in: *Revista brasileira de ciências sociais*. 2004, Vol. 19, 55, p. 172-176.

VARRICHIO, P. C. (2012), *Uma análise dos condicionantes e oportunidades em cadeias produtivas baseadas em recursos naturais: o caso do setor sucroalcooleiro no Brasil*. Unicamp, Campinas, SP. (tese de doutorado)

WALTER, A. (2010), "Workshop potencial de geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana: oportunidades, desafios e ações necessárias". In: CORTEZ, L. B. (coord). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, p. 577 - 582.

WENCESLAU, F. F. (2013), *PROINFA: Uma contribuição para a diversidade da matriz energética no Rio Grande do Sul?* Universidade de Santa Cruz do Sul, RS.

ZAHARIDIS, N. (1999), "Ambiguity, time, and multiple streams", In: P. Sabatier (ed.), *Theories of the Policy Process*. Boulder, CO: Westview Press.

