

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Educação e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade

Em busca de alternativas energéticas: estudo sobre as pesquisas em células combustíveis no Brasil

Bruno Rossi Lorenzi

São Carlos - SP

2012

BRUNO ROSSI LORENZI

**Em busca de alternativas energéticas: estudo sobre as
pesquisas em células combustíveis no Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade, do Centro de Educação e Ciências Humanas, da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Orientador: Dr. Thales Haddad Novaes de Andrade

São Carlos - SP

2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

L869ba

Lorenzi, Bruno Rossi.

Em busca de alternativas energéticas : estudo sobre as pesquisas em células combustíveis no Brasil / Bruno Rossi Lorenzi. -- São Carlos : UFSCar, 2012.

101 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Desenvolvimento social - ciência, tecnologia e sociedade. 2. Células a combustível. 3. Hidrogênio. 4. Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio. 5. Ciência - aspectos sociais. I. Título.

CDD: 303.483 (20^a)



**BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
BRUNO ROSSI LORENZI**

Prof. Dr. Thales Haddad Novaes de Andrade
Orientador e Presidente
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Marco Sinésio Alves Monteiro
Membro externo
Universidade de Campinas

Profa. Dra. Camila Carneiro Dias Rigolin
Membro interno
Universidade Federal de São Carlos

Submetida a defesa pública em sessão realizada em: 29/02/2012.
Homologada na 55ª reunião da CPG do PPGCTS, realizada em
16/03/2012.

Prof. Dra. Maria Cristina Piumbato Innocentini Hayashi
Coordenadora do PPGCTS

Fomento: **FAPESP**

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente ao meu orientador, Thales Novaes de Andrade, por toda cooperação e liberdade que me permitiu assumir na elaboração desta dissertação, assim como a suas sugestões e disponibilidade.

Agradeço a todo o pessoal do CENEH que sempre me atendeu prontamente e confiou a mim informações valiosas.

Também devo agradecer à FAPESP pelo financiamento desta pesquisa, assim como o Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade e a própria UFSCar por ter possibilitado o meu ingresso e execução deste mestrado.

À minha família também por todo o apoio neste período e à minha namorada, Thaíza de Magalhães, pelo suporte e carinho.

No mais, a todos os meus amigos, que sempre me apoiaram em meus objetivos, mesmo antes de começar esse mestrado.

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo fazer uma análise das dimensões políticas e sociais das pesquisas em células a combustível e uso energético do hidrogênio no Brasil. Para isso, fizemos uma extensa pesquisa bibliográfica sobre este tema e outros relacionados (como política energética e meio ambiente) e realizamos um estudo de caso sobre o CENEH (Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio), um centro público de pesquisa e consulta em tecnologias relacionadas ao hidrogênio e células a combustível. Como referencial teórico, partimos da sociologia da ciência, em especial a teoria Ator-Rede de Bruno Latour e Michel Callon. Por meio desta pesquisa, pudemos constatar diversos atores sociais relacionados às pesquisas nesta área, suas ações, relações e tensões, assim como um panorama da situação tecnológica e política das pesquisas e desenvolvimento do uso energético do hidrogênio nas redes articuladas pelo CENEH.

Palavras-chave: Células a combustível; hidrogênio, CENEH; Sociologia da ciência

Abstract

In search of energy alternatives: a study on fuel cells research in Brazil

This dissertation has aims to make an analysis of the political and sociological dimensions on the research in fuel cells and hydrogen energetic use in Brazil. For this we have done an extensive bibliographic research about this theme and other related (as energy policy and environment) and a case study about the CENEH (Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio), a public center of research and consultation in technologies related to the hydrogen and fuel cells. As a theoretical background, we start from the sociology of science, specially the Actor-Network Theory by Bruno Latour and Michel Callon. Through this research, we found many social actors related to this area, their actions, relations and tensions, and also a view of the technological and political situation of the research and development of the hydrogen energetic use at the networks articulated by the CENEH.

Key-words: Fuel cells; hydrogen; CENEH; Sociology of Science

Lista de Siglas

AFC - *Alkaline Fuel Cell* (Célula a Combustível Alcalina)

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANT – Actor-Network Theory

BAESA - Energética Barra Grande S/A

BEN - Balanço Energético Nacional

BEV - *Battery Electric Vehicle* (Veículo elétrico à bateria)

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

CaC – Célula a Combustível

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CENEH – Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

CCPE - Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos

CEPEN - Centro de Estudos e Planejamento Energético

CFC – Clorofluorcarbono

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CH₄ - Gás Metano

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Gás Carbônico ou Dióxido de Carbono

DMFC - *Direct Methanol Fuel Cell* (Célula a Combustível Metanol Direto)

EE - Efeito Estufa

EMTU - Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas

FCEV - *Fuel Cell Electric Vehicle* (Veículo elétrico de célula a combustível)

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

FMI - Fundo Monetário Internacional

Gasbol - Gasoduto Bolívia-Brasil

GEE - Gases de Efeito Estufa

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

GWP - *Global Warming Potential* (Potencial de Aquecimento Global)

H2 - Gás Hidrogênio

ICE - *Internal Combustion Engine* (Motor de combustão interna)

IEA – *International Energy Agency*

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas)

IPHE - *International Partnership for Hydrogen Economy* (Parceria Internacional para a Economia do Hidrogênio)

KW – Kilowatt

LH2 – Laboratório do Hidrogênio – UNICAMP

MAE - Mercado Atacadista de energia Elétrica

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

MME – Ministério de Minas e Energia

MCFC - *Molten Carbonate Fuel Cell* (Célula Combustível de Carbonato Fundido)

MW – Megawatt

N2O - Óxido Nitroso

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

PAFC - *Phosphoric Acid Fuel Cell* (Célula a Combustível de Ácido Fosfórico)

ProCac - Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível

ProH2 - Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio

PEFC - *Polymer Electrolyte Fuel Cell* (Célula de Combustível de Eletrólito Polimérico)

PEM - *Proton exchange membrane* (Membrana de Troca de Prótons – PEMFC)

PEMFC - *Proton exchange membrane fuel cells* (Célula de Combustível Membrana de Troca de Prótons)

PHEV - *Plug In Hybrid Electric Vehicle* (Veículo Elétrico Híbrido)

SIN - Sistema Interligado Nacional

SOFC - *Solid Oxide Fuel Cell* (Célula a Combustível de Óxido Sólido)

UNFCCC - *United Nations Framework on Climate Change Convention* (*Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima*)

W – watt

Wh – watt-hora

WMO - *World Meteorological Organization* (Organização Meteorológica Mundial)

Sumário

Capítulo 1: Introdução.....	13
Capítulo 2: A Política Energética no Brasil	17
2.1 – Introdução.....	17
2.2 - As políticas energéticas recentes no Brasil	20
2.3 – A eletricidade	25
2.4 – Os efeitos do uso intensivo de combustíveis fósseis: os Gases de Efeito Estufa	29
Capítulo 3: O Hidrogênio e as Células a Combustível.....	36
3.1 - O Hidrogênio.....	36
3.2 - Os processos de produção de hidrogênio	37
3.3 - As Células a Combustível	40
3.4 – Uso de células a combustível no setor veicular.....	43
3.5 – A geração estacionária distribuída.....	47
3.6 - As políticas internacionais e nacionais em relação às CaC e o hidrogênio.....	48
Capítulo 4: Os Estudos Sociais da ciência	52
4.1 - Introdução	52
4.2 – A Sociologia da Ciência de Robert Merton.....	54
4.3 – Thomas Kuhn e o conceito de Revolução Científica	56
4.4 – David Bloor e o Programa Forte em Sociologia da Ciência.....	58
4.5 - A Sociologia da Ciência de Pierre Bourdieu.....	60
4.6 - Os Estudos de Laboratório e a Teoria Ator-Rede (ANT)	62
4.7 - Fechando uma Caixa-Preta	67
Capítulo 5: O CENEH e a pesquisas e desenvolvimento de tecnologias do hidrogênio no Brasil.	71
5.1 – Antecedentes do CENEH	72
5.2 – A criação do CENEH	73

5.3 – As alianças do CENEH	75
5.4 – As políticas e programas de pesquisa	77
5.5 – Alguns problemas estruturais	81
Capítulo 6: Conclusão	96
Referências	98
Anexo: Modelo das entrevistas	102

Capítulo 1: Introdução

Atualmente presenciamos um aumento cada vez maior das preocupações com o meio ambiente, o aquecimento global e a busca de um desenvolvimento sustentável nas agendas políticas da maior parte das nações. Um dos maiores inimigos a um desenvolvimento sustentável nos países industrializados é o uso do petróleo como principal fonte da matriz energética. Por essas e outras razões, muitos países, inclusive o Brasil, têm buscado novas alternativas para a questão energética.

A maior parte das economias do mundo são preponderantemente baseadas no petróleo e seus subprodutos para a produção energética. Muitos autores apontam que o pico da produção de petróleo está relativamente próximo. Após esse pico, a produção de petróleo deve se tornar cada vez menor, tornando esse combustível cada vez mais caro, o que pode ocasionar crises econômicas terríveis na maior parte dos países do mundo (PIRES, FERNANDES Y FERNANDES, BUENO, 2006; PEREIRA, 2003).

Além disso, também se deve levar em conta na agenda política a questão da segurança energética. Um país não pode se tornar dependente de uma única ou poucas fontes de energia. A produção de petróleo atualmente está nas mãos de cerca de 20 nações (muitas com governos instáveis), o que representa um grande risco à segurança energética de muitas nações. Quanto mais variada for a matriz energética de uma nação, mais segura estará nesta questão (RIFKIN, 2003).

Além do problema do pico de produção do petróleo, há outro problema talvez ainda mais grave. O uso do petróleo e de outros combustíveis fósseis causa a emissão de gases de efeito estufa (GEEs), o que, segundo a maior parte dos especialistas, está causando um aquecimento anormal e acelerado no planeta, que pode causar, entre muitas coisas, a elevação do nível do mar, distúrbios nas estações do ano, chuvas e secas mais fortes, etc (IPCC, 2007).

A maior parte da matriz energética brasileira (mais de 60%) provém de combustíveis fósseis, sendo o petróleo a principal fonte de energia. O uso dos derivados do petróleo responde por cerca de 42% de nossa matriz, e o setor veicular é responsável por cerca de 50% deste total (MME, BEN, 2010). Porém, este setor é um dos principais aliados ao uso das células a combustíveis e do hidrogênio.

O hidrogênio, por ser um elemento livre de carbono, quando utilizado para fins energéticos através das chamadas células a combustível (dispositivos eletro-químicos que

convertem o hidrogênio em eletricidade) não produz nenhum resíduo nocivo ao meio ambiente. Além disso, uma grande vantagem do hidrogênio é que ele pode ser obtido através de inúmeras fontes de combustíveis, desde as fontes fósseis tradicionais como petróleo e gás natural, até fontes renováveis (até mesmo da água) onde a emissão de gases de efeito estufa é muito menor. Apesar de não ser uma fonte primária de energia, o hidrogênio pode ser utilizado como uma forma de armazenamento de energia e ajudar a viabilizar outras formas de geração renováveis, como hidrelétrica, energia solar, eólica, etc.

O maior problema da geração de energia através de fontes renováveis é a questão da intermitência. Tanto a luz solar como os ventos variam muito ao longo do dia. A energia gerada através dessas fontes precisa ser utilizada imediatamente ou armazenada de outras formas, como baterias. O potencial hidrelétrico também não é constante ao longo do ano, sendo necessário fazer grandes barragens e também abrir comportas desperdiçando energia quando essas atingem certo ponto. Porém, se a essas estações de geração forem instaladas células eletrolíticas, a energia excedente pode ser convertida e armazenada sob a forma de hidrogênio e posteriormente reconvertida em eletricidade por meio de células a combustível. A vantagem de se armazenar sob a forma de hidrogênio ao invés das tradicionais baterias de lítio é que é mais barato e eficiente. Assim, poderia se construir barragens para hidrelétricas menores e mais eficientes, diminuindo o impacto social e ambiental, além de tornar a energia solar e eólicas mais viáveis.

Além de contribuir para uma geração elétrica mais distribuída, as células a combustível também podem ser utilizadas em automóveis. O setor veicular é um dos mais cotados para a utilização dessa tecnologia nos próximos anos. Carros movidos a hidrogênio não emitem nenhum poluente ou gás de efeito estufa, além, das CaC serem muito mais eficientes e silenciosas do que os motores à combustão. Obtido através de fontes renováveis, que as próprias células a combustível tendem a baratear, o hidrogênio é uma alternativa técnica para substituir em grande escala o uso de derivados de petróleo no setor veicular.

O desenvolvimento das células a combustível está acelerado e de certa forma bastante adiantado na maior parte dos países desenvolvidos, onde já se pensa em inserir o hidrogênio na matriz energética de maneira significativa nas próximas décadas. O Brasil também faz parte de organizações mundiais para a implantação da economia do hidrogênio, o IPHE (*International Partnership for Hydrogen Economy*) e possui algumas políticas voltadas para a pesquisa e desenvolvimento das células a combustível e o hidrogênio, com destaque para o

ProH2 - Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio – do Ministério de Ciência e Tecnologia e do *Roteiro Brasileiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio* do Ministério de Minas e Energia.

Porém, no Brasil, o desenvolvimento dessas tecnologias se encontra num estado bastante atrasado em relação aos países desenvolvidos, ou mesmo se comparado a outros países emergentes, como Coréia do Sul, Rússia, Índia e China. Nestes países, têm sido criados muitos incentivos fiscais a essas tecnologias limpas e sendo disponibilizado muito mais verba que o Brasil para pesquisas nessa área (CGEE, 2010).

O presente trabalho pretende analisar a situação de uma rede de pesquisa voltada ao desenvolvimento de células a combustível e produção de hidrogênio no Brasil, tendo como referência teórica a sociologia da ciência, em especial a teoria Ator-Rede (ANT) de Bruno Latour e Michel Callon. Como objeto de estudo foi escolhido o CENEH – Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio. Este centro reuni informações de pesquisas sobre o uso energético do hidrogênio do país inteiro para posterior divulgação sob a forma de relatórios, workshops ou consultas gratuitas. Por se tratar de um centro público de consulta e um articulador de pesquisas sobre o tema, foi escolhido para o estudo de caso.

A estrutura dessa dissertação é composta de cinco capítulos, além desta introdução. No próximo capítulo, dedicado à política energética nacional, fazemos um levantamento das principais fontes energéticas utilizadas no Brasil, suas proporções, benefícios e malefícios econômicos, sociais e ambientais. Também descrevemos um pouco os sistemas, as políticas nacionais e as principais instituições ligadas a este setor. Nesse mesmo capítulo também tratamos da questão de emissão de gases de efeito estufa na geração energética e seus possíveis malefícios, além das políticas e histórico ligados a este tema.

No terceiro capítulo fazemos uma exposição das células a combustível - seu funcionamento, os principais tipos, as vantagens e possibilidades dessa tecnologia e alguns usos que tem tido até agora e são vislumbrados para os próximos anos. Também descrevemos os principais processos de produção do hidrogênio, suas vantagens e limitações como um vetor energético.

O quarto capítulo é dedicado à sociologia da ciência e os estudos sociais da ciência, que embasam nosso estudo de caso. Começamos pelos estudos de Robert Merton sobre a relação institucional da ciência com a sociedade, passamos por Thomas Kuhn, David Bloor,

Pierre Bourdieu, até finalmente chegarmos aos teóricos que pretendemos basear nossa análise: Michel Callon e Bruno Latour. Nesse capítulo desenvolvemos um pouco dos principais conceitos de cada autor, mostramos as suas conexões e diferenças, e destacamos os conceitos que são especialmente úteis para nós, como atores humano e não-humanos, elementos híbridos e redes sócio-técnicas.

O quinto capítulo trata do nosso estudo de caso, realizada por meio de análise bibliográfica sobre o tema e entrevistas semi-estruturadas feitas com o pessoal do CENEH (Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio) e do LH2 (Laboratório do Hidrogênio), localizados na UNICAMP, assim como alguns empresários do ramo. Nele, expomos o histórico dos principais programas voltados a essas tecnologias no Brasil e os programas internacionais. Debates os avanços da pesquisa nessa área, os principais entraves sócio-políticos, assim como as áreas de maior interesse para o Brasil num futuro próximo.

O sexto capítulo, dedicado à conclusão, resume os dados e entrevistas do estudo de caso e aponta alguns fatores que são determinantes para os processos de transição nas pesquisas em células a combustível no Brasil, como: uma desarticulação entre os setores de pesquisa, o setor governamental e o mercado; descontinuidades dos programas propostos pelos governos; inadequação e incompatibilidade das leis referentes à tributação das pesquisas e aquisição de equipamentos; falta de estímulos tributários e financeiros para esse tipo de pesquisa no Brasil, entre outras coisas.

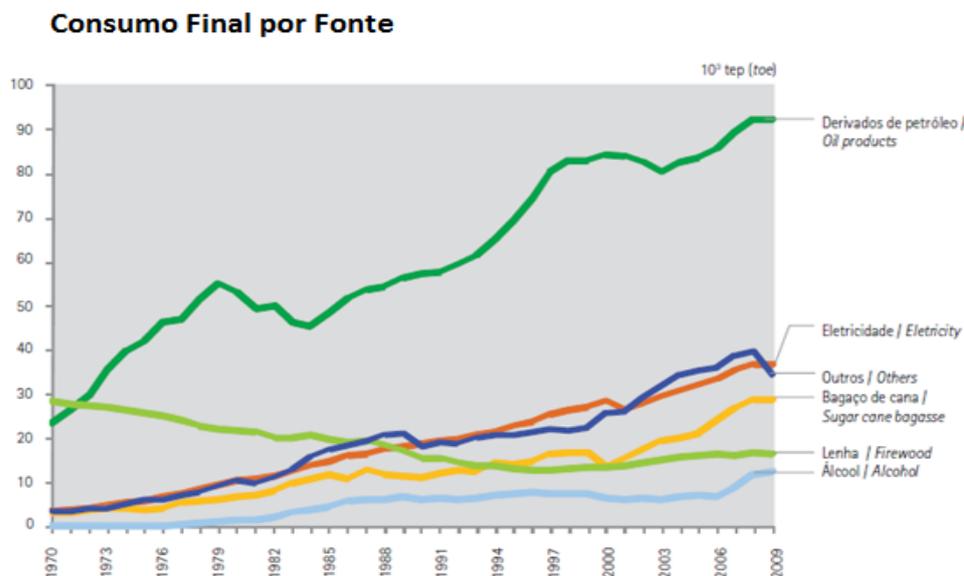
Capítulo 2: A Política Energética no Brasil

2.1 – Introdução

A política energética no Brasil é um tema importante para este trabalho, pois, está intimamente relacionado aos possíveis usos e benefícios do hidrogênio. O hidrogênio extraído de fontes renováveis é uma alternativa técnica que poderia substituir grande parte da gasolina e do diesel utilizado no setor de transportes em veículos movidos a hidrogênio por meio das células a combustível. O hidrogênio também poderia ser utilizado para o armazenamento de energia em estações de geração hidrelétrica, solar ou eólica, tornando o processo mais eficiente e ajudar a resolver o problema das fontes intermitentes, como solar e eólica. Também poderia fazer uma grande diferença na geração distribuída substituindo os tradicionais geradores a querosene por células a combustível alimentadas com hidrogênio (SILVA, 1991).

O uso de algumas fontes de energia não-renováveis tem decaído ao longo do tempo, como é o caso da lenha, enquanto outras de origem renovável tem crescido, como o bagaço de cana e o álcool. Outra fonte não renovável que vem crescendo muito é o gás natural. Mas a maior parte dos combustíveis vem mantendo sua proporção ao longo das décadas, sendo o petróleo o mais expressivo (ver gráfico 2.1).

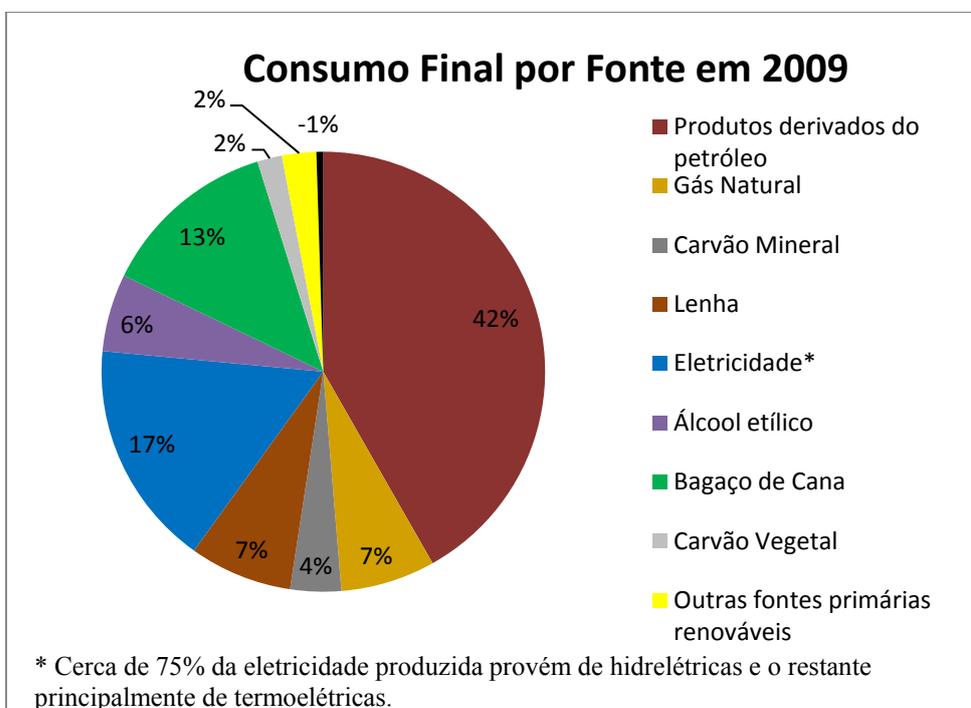
Gráfico 2.1 - Consumo Final por Fonte ao longo dos anos



Fonte: MME, BEN, 2010

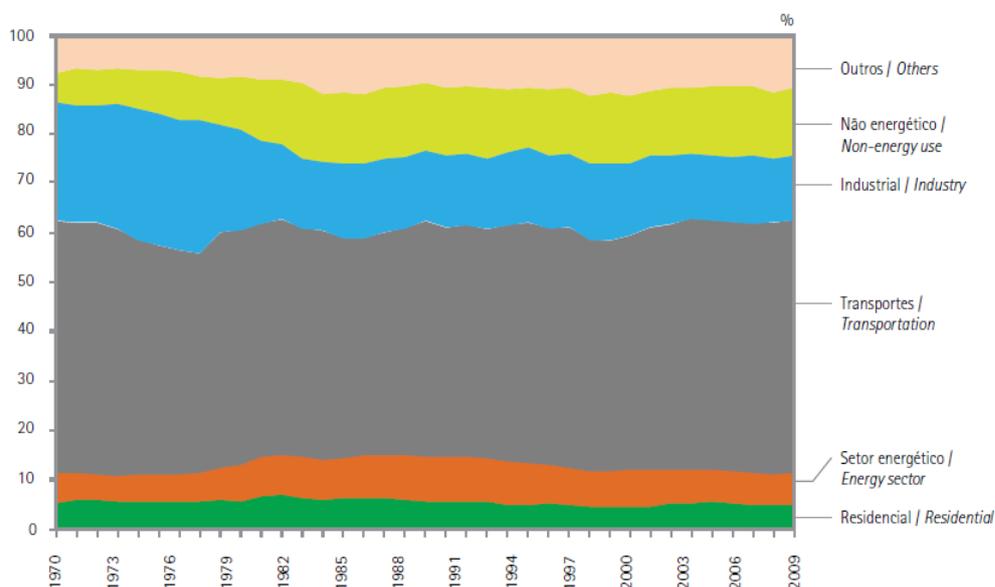
No Brasil, cerca de 56% do total da energia consumida é de origem não-renovável, sendo o petróleo responsável por 75% deste total (MME, BEN, 2010 - ver gráfico 2.2). Somente o setor de transportes responde por 51% do uso do petróleo (ver gráfico 2.3).

Gráfico 2.2 - Consumo Final por Fonte



Fonte: MME, BEN, 2010 (Elaboração própria).

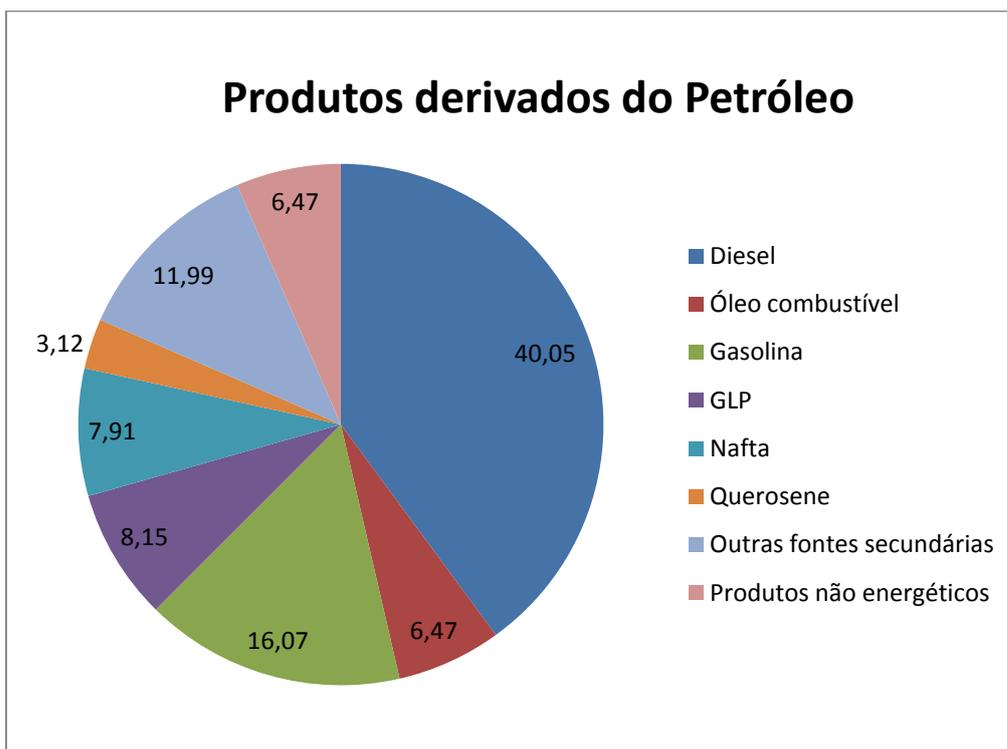
Gráfico 2.3 - Consumo de Derivados do Petróleo por Setor



Fonte: MME, BEN, 2010.

A maior parte do petróleo se destina à fabricação do diesel (ver gráfico 2.4), consequência da estratégia logística das políticas anteriores e atual de manter o setor rodoviário como o principal meio de transporte de cargas e passageiros no Brasil. Em segundo lugar vem a gasolina. (MME, BEN, 2010).

Gráfico 2.4



Fonte: MME, BEN, 2010 (elaboração própria).

O uso combinado do hidrogênio e de células a combustível aplicado ao setor veicular poderia trazer uma mudança significativa no uso de combustíveis derivados do petróleo. Também é uma alternativa técnica para a geração elétrica distribuída, substituindo antigos geradores a querosene em localidades que estão fora do sistema de energia elétrica. Também pode ser utilizado em dispositivos móveis e empilhadeiras, substituindo as baterias tradicionais.

Entretanto, este não parece ser o caminho que as políticas brasileiras vêm tomando atualmente. Segundo o Plano Decenal de Energia, divulgado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), serão necessários mais de um trilhão de reais em investimentos para aumentar a capacidade energética até 2020, cuja demanda deve subir em 60% até lá. Apesar de prever o

aumento das fontes renováveis - em somente 2% -, a maior parte do total, 67% (686 bilhões de reais), deve ser aplicado na exploração e produção do petróleo¹ (EPE, 2011).

Enquanto a maior parte dos países envolvidos no Tratado de Kyoto têm desenvolvido políticas para diminuição do uso de fontes fósseis e não-renováveis, o Brasil tem caminhado no sentido oposto. Talvez a nossa matriz energética, aliado a grandes descobertas de reservas de petróleo recentemente, explique um pouco isso. Cerca de 42% da matriz energética brasileira é oriunda de fontes renováveis - uma participação expressiva frente aos 15% da média mundial (BEN, 2010).

Ao contrário do que alguns pesquisadores apontavam na década de 90 (RIFKIN, 2003), há mais petróleo no mundo do que se imaginava. No cenário projetado naquela época, o pico de produção do petróleo (após esse pico seria possível produzir cada vez menos petróleo) seria atingido por volta do ano 2000, o que levaria a uma crise mundial em curto prazo, já que os preços do petróleo aumentariam vertiginosamente após esse momento, pois se demandaria mais petróleo do que seria possível produzir. Esse cenário ainda é possível, mas hoje em dia essa hipótese é bem menos preocupante devido às descobertas de novas reservas e ao aumento de extração e produção de gás natural. Atualmente se prevê que a relação reserva-produção mundial está num patamar de mais ou menos 40 anos, sendo que esta relação na América do Sul é mais ou menos a mesma (PEREIRA, 2008; PIRES, FERNANDES Y FERNANDES, BUENO, 2006).

Porém, a questão da emissão de Gases de Efeito Estufa antrópicos e o aquecimento global tem se tornado uma questão cada vez mais importante na ciência e na política global, o que tem acelerado a necessidade da substituição de combustíveis fósseis (principalmente o petróleo) por fontes de energia renováveis, independentemente das reservas de petróleo.

2.2 - As políticas energéticas recentes no Brasil

Até meados da década de 80, a Petrobrás e a Eletrobrás eram as principais responsáveis pela prospecção, planejamento da operação e expansão dos setores de petróleo, gás e energia elétrica, sendo que elas mesmas propunham ao Ministério de Minas e Energia as políticas energéticas (Carvalho, 2005).

¹ Disponível em: http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110606_1.pdf. Acesso em 07/06/2011.

Na década de 90, o governo FHC criou o Programa Nacional de Desestatização, que privatizou diversas distribuidoras de energia e acabou com o monopólio da Petrobrás. A maior parte das distribuidoras, cerca de 80%, foi privatizado. Mas menos de 20% da capacidade de geração teve o mesmo fim. O governo separou as atividades de geração, transmissão e distribuição, numa tentativa de dinamizar os três setores e gerar concorrência. Porém, manteve o controle da geração de energia por motivos estratégicos de segurança e controle.

Foi criado em 1996 (após o início das privatizações) uma agência reguladora para o setor elétrico, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), uma autarquia vinculada ao MME, que ficou responsável por criar regulamentos e fiscalizar as atividades das empresas, tanto públicas quanto privadas, do setor elétrico, além de outras tarefas antes executadas pela Eletrobrás e o MME, como promover licitações, fazer a gestão dos contratos de concessão, fixar os critérios para os cálculos das tarifas, etc.

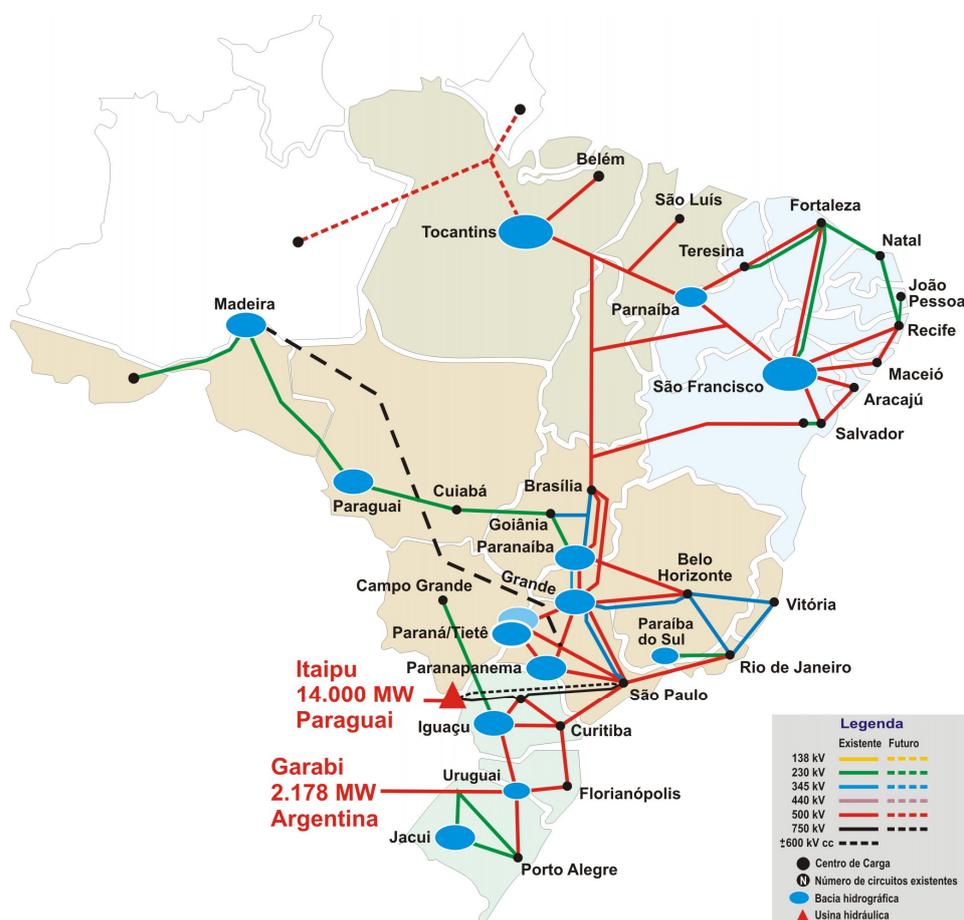
Também foi criado o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), nos mesmos moldes da ANEEL, mas responsável pela operação do SIN (Sistema Interligado Nacional), que administra a geração e transmissão de energia das diversas operadoras interconectadas (ver imagem 2.8), e garante o abastecimento de energia elétrica em praticamente todo o território nacional.

E para dar continuidade ao processo de privatização e concessão de novas geradoras e operadoras, foi criado o Mercado Atacadista de energia Elétrica (MAE), que por diversas disputas políticas, demorou para entrar em operação, e foi substituída pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), criado em 2004 (CARVALHO, 2005).

Em 1997 foi criado o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que entrou em operação em 2000. 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).

O Presidente do CNPE é o Ministro de Minas e Energia, que encaminha as resoluções de política energética do Conselho para o Presidente da República, que, ao aprová-las e publicá-las no Diário Oficial da União, concede-lhes o valor de um decreto presidencial. Logo, o CNPE é o mais importante fórum para a proposição de políticas energéticas no País. (...) O relatório da Comissão de Avaliação do Sistema Hidrotérmico de Energia Elétrica, criada pelo governo federal para desvendar as causas do racionamento de 2001, aponta que uma instalação mais cedo do CNPE teria evitado, ou, pelo menos, minimizado as consequências do racionamento de 2001 (CARVALHO, 2005, p. 7).

Imagem 2.8 - O Sistema Interligado Nacional - SIN



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, 2011. disponível em:
http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx# (acesso 24/01/2011)

Em 1999, o MME criou o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE), responsável por coordenar e elaborar o planejamento da expansão dos sistemas elétricos. Porém, em 2002 uma nova lei substituiria o CCPE pelo Centro de

Estudos e Planejamento Energético (CEPEN). No fim, ao invés disso, em 2004 foi criada a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), uma empresa estatal que substituiu o CEPEN e é hoje responsável pelo planejamento do setor energético e planos de expansão de médio e longo prazo. Todas essas alterações seguidas revelam a desorganização do setor elétrico na época de suas privatizações (CARVALHO, 2005; EPE, 2011).

Houve também 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. 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).

Segundo Carvalho (2005), o governo pode gerir o setor energético utilizando três instrumentos bem distintos e complementares: a formulação de políticas públicas; planejamento, indicativo ou determinativo, conforme as circunstâncias; e regulação dos mercados de energia. Esses instrumentos devem ser utilizados por um governo de forma independente entre si, mas de maneira complementar.

Para que haja uma boa integração destes três instrumentos no país, é necessário que: o Ministério de Minas e Energia (MME) defina com clareza as suas relações com os demais agentes que atuam no setor energético, destacando-se as agências reguladoras e as empresas concessionárias estatais a elas vinculadas e possua um órgão de apoio, que execute de forma eficiente e sustentável um planejamento energético de cunho estrutural para o País; que a atual legislação do setor energético sofra uma revisão com o objetivo de torná-la mais clara, eliminando os pontos conflitantes e vagos de leis, decretos, portarias, protocolos de entendimentos, contratos de gestão, etc.; definição clara dos papéis de cada instituição na gestão do setor e como eles devem relacionar-se entre si de uma forma harmoniosa e eficiente, independente das aptidões de seus dirigentes (Carvalho, 2005, p.2).

Segundo o autor, as políticas energéticas no Brasil foram formuladas no passado de uma forma isolada para cada segmento do setor energético (petróleo, gás natural, eletricidade, etc) e com pouca relação com outras políticas públicas.

Porém, isso está mudando. Desde a instalação do CNPE esses segmentos têm sido planejados de maneira mais articulada entre si e com outras políticas públicas e, através de

estudos prospectivos de longo prazo (mais de 20 anos), também pensados em cenários alternativos, com outras políticas, econômicas, energéticas, ambientais, etc. O autor também enfatiza que deve haver uma maior articulação entre as políticas energéticas e ambientais, tratadas até o momento como políticas muitas vezes adversárias.

As políticas energéticas ainda estão fortemente concentradas no âmbito federal. Sua principal proposição é que haja um processo de descentralização das políticas energéticas, que desse maior autonomia aos estados da federação e órgãos a eles associados para planejar e implementar suas políticas energéticas, sem deixar de articulá-las com outros estados e a União (Carvalho, 2005, p.14-15).

O processo de reestruturação do MME sugerido neste trabalho contempla a descentralização das suas atividades em questões que podem ser conduzidas de forma mais eficiente no âmbito estadual, em virtude de uma maior facilidade de articulação entre os agentes envolvidos e um conhecimento mais detalhado das especificidades locais. Dentre estas questões pode-se destacar a elaboração de projeções de matrizes energéticas estaduais, busca de universalização do acesso à energia elétrica, fomento ao uso de recursos energéticos locais, geração distribuída de energia elétrica, e novos programas de eficiência energética (Carvalho, 2005, p. 272)

O autor também critica a política de preços no Brasil. Os preços dos derivados de petróleo – gasolina, óleos diesel, óleo combustível, GLP, nafta, querosene de aviação e óleo lubrificante – no Brasil tem sido estabelecidas pelas condições do mercado, sem nenhuma regulação, desde janeiro de 2002 até agora, conforme determinam as Leis nos 9.478/97 e 9.990/00 (Carvalho, 2005, p. 44).

Outro problema relatado por Carvalho (2005) são as poucas e fracas políticas de P&D em eficiência energética. A promulgação da Lei nº 10.295 de 17/10/2001, que possibilita ao governo fixar níveis máximos de consumo energético específico ou níveis mínimos de eficiência energética para equipamentos produzidos no País ou importados, constitui o mais importante incentivo, em termos de política energética, nos últimos anos, na busca por níveis mais elevados de eficiência energética no Brasil.

Desde 1998 os contratos de concessão das empresas concessionárias distribuidoras possuem uma cláusula que requer que elas apliquem pelo menos 1% (o que já é pouco) de sua

receita anual em programas de eficiência energética e de P&D, com pelo menos 0,25% em programas de gerenciamento pelo lado da demanda e pelo menos 0,1% em atividades de P&D. Porém, a lei nº 9.991, promulgada em julho de 2000, diminuiu esse valor, estabelecendo que as concessionárias distribuidoras de eletricidade devem aplicar anualmente pelo menos 0,75% de sua receita operacional líquida em projetos de P&D (Carvalho, 2005).

Segundo os secretários do CENEH, essa lei é o principal incentivo das operadoras de energia a contratarem instituições de pesquisa para desenvolverem pesquisas em eficiência energética. Porém, segundo eles, essas empresas contratam as pesquisas só para não serem multadas pela ANEEL e em praticamente todas as vezes não desenvolvem ou colocam em prática o resultado dessas pesquisas.

2.3 – A eletricidade

Apesar de corresponder a apenas 17% da matriz energética nacional, o Brasil tem como fonte de geração de eletricidade majoritariamente a hidroeletricidade, uma forma considerada limpa e renovável e em uma das maiores proporções do mundo.

Contando com o que é importado da parte paraguaia de Itaipu, cerca de 85% da eletricidade no Brasil provém de hidrelétricas (ver gráfico 2.8), e uma parte significativa provém da biomassa, ramo que vem crescendo muito ultimamente devido ao aumento da auto-produção utilizando bagaço de cana.

A maior parte do potencial hidrelétrico (cerca de 60%) do Brasil encontra-se na bacia amazônica. Porém, há um grande problema em se instalar novas hidrelétricas nessa região. Um estudo projetivo, comparando as emissões de GEE de uma hidrelétrica como Tucuruí (na região da floresta amazônica) com uma usina termelétrica equivalente (1950MW), ao longo de cem anos, chegou à conclusão de que a hidrelétrica emitiria a mesma quantidade de GEE que a termoelétrica, durante 38 anos, devido à decomposição do material orgânico represado (JUNK & MELLO, 1987). Em outro estudo, se projetou que em apenas 10 anos, Tucuruí emitiria 171 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ (CO₂ + CH₄) (FEARNSIDE, 1997 Apud: BERMANN, 2001).

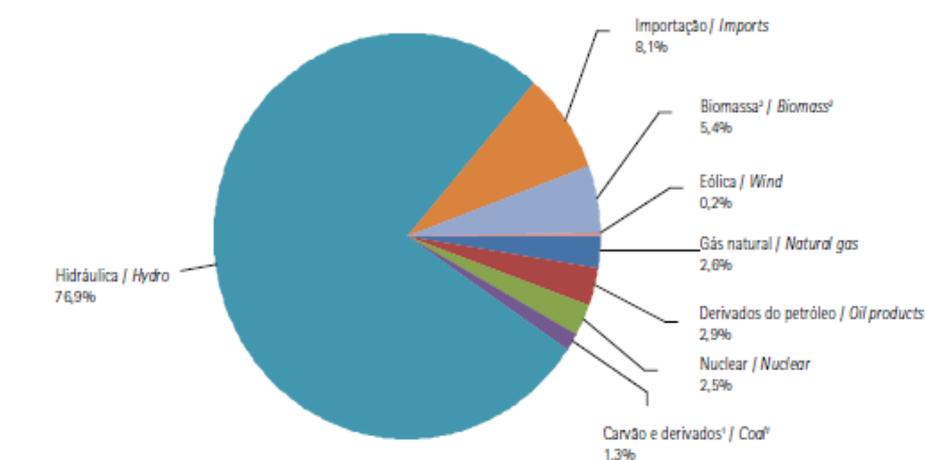
A hidroeletricidade é uma grande aliada para um desenvolvimento sustentável e a capacidade hidráulica no Brasil é uma grande riqueza, porém, se não se pensar um código ambiental adequado e regulamentações precisas por parte das instituições regulamentadoras

para a instalação e funcionamento dessas hidrelétricas, incluindo a compensação financeira dos atingidos, a implementação de novas hidrelétricas na bacia amazônica pode representar um grande prejuízo ambiental e social ao invés de um desenvolvimento sustentável.

Se à sociedade é imposto um certo perfil de desenvolvimento, o que determina uma dada estrutura de consumo energético, a sua não participação no processo de decisão passa a ser a condição necessária para a perpetuação do perfil do desenvolvimento imposto. (...) No entanto, o debate energético não pode permanecer confinado nas mesas e gabinetes de "experts", hábeis apenas na manipulação de números e unidades - microns, kilo, mega, giga, peta, Joules, calorias, tep's, Btu's, Watts,... - buscando na epistemologia da ciências exatas a legitimação de decisões que afetam toda a sociedade. (BERMANN, 2001, p. 89-90)

A capacidade instalada de geração elétrica no Brasil somou 106.215MW em 2009 (ver gráfico 2.9). Segundo alguns autores, apesar de expressivo esses números ainda estão muito aquém da necessidade do Brasil, principalmente se considerar o grande número de famílias que não tem acesso a bens básicos, como geladeiras, chuveiro, máquinas de lavar, ferros de passar, etc (BERMANN, 2001).

Gráfico 2.8 - Oferta de Energia Elétrica por Fonte



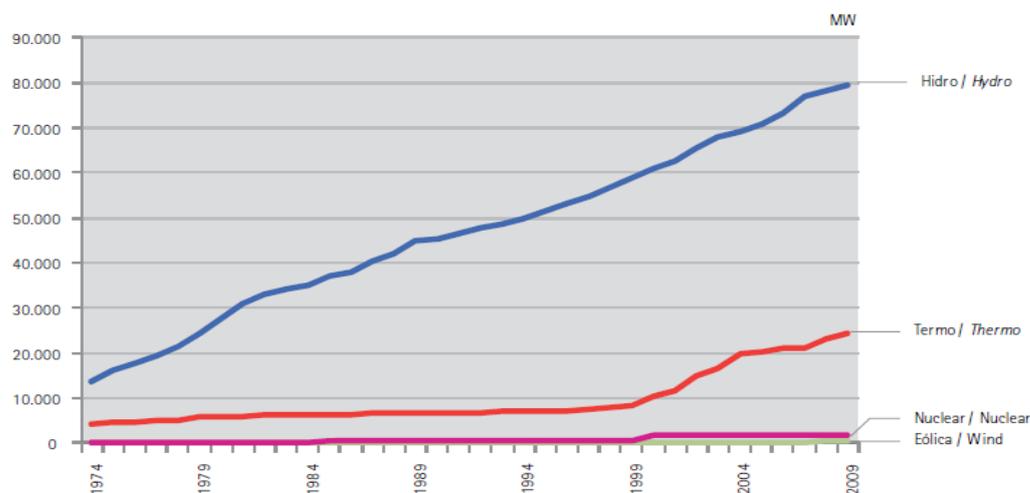
Notas/ Notes:

¹ Inclui gás de coqueria / Includes coke gas.

² Biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lúvia e outras recuperações / Biomass includes firewood, sugar cane bagasse, black liquor e other wastes.

Fonte: MME, BEN, 2010

Gráfico 2.9 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica



Fonte: MME, BEN, 2010

Bermann (2001) propõe uma cesta básica de energia, (que inclui eletricidade, gás de cozinha e combustível para transporte público), para satisfazer as necessidades básicas de uma família de cinco pessoas, baseado no requerimento mínimo mensal em energia elétrica dos principais equipamentos eletrodomésticos básicos (geladeira, chuveiro elétrico, cinco lâmpadas, televisão, ferro elétrico, lava roupas e rádio). A carência só de eletricidade no país, considerando que todos tivessem acesso a esses bens e ao seu consumo mínimo, seria segundo seus cálculos, de 35 mil TWh em 1999 ou, cerca de 43% do consumo residencial naquele ano. Isto evidencia a grande carência energética no Brasil e mais especificamente, a desigualdade de acesso a esses bens básicos, já que se consome muito menos do que seria o adequado.

Entretanto, o hidrogênio e as células a combustível pode ser utilizado como um grande aliado nessa questão. Muito da energia potencial de uma hidrelétrica se perde quando se abrem comportas para vaziar o excedente de água ou se desativa algumas turbinas, quando não há demanda para tanto. Isso se deve ao fato de não haver um sistema de armazenamento de energia em hidrelétricas atualmente, produzindo somente o necessário para aquele momento. Em compensação, muitas vezes no horário de pico as geradoras ficam sobrecarregadas, o que não aconteceria caso houvesse um sistema de armazenamento e essa energia pudesse ser gerada fora do horário de pico.

Muita energia poderia ser aproveitada das hidrelétricas se pudesse-se armazenar essa energia de alguma forma. Uma opção é o armazenamento de energia na forma química, em baterias. Porém, esse método possui algumas restrições, principalmente o enorme volume e peso dos acumuladores à bateria necessários para armazenar uma quantidade significativa de energia.

Entretanto, uma possibilidade interessante no caso das hidrelétricas é o armazenamento de energia na forma de hidrogênio. A eletricidade gerada pelas hidrelétricas fora do horário de pico poderia alimentar células eletrolíticas (dispositivo que decompõem a água através de uma corrente elétrica) e gerar hidrogênio a partir da eletrólise da água. Depois de purificado, o hidrogênio pode ser armazenado na forma comprimida ou na forma líquida e reconvertido posteriormente em energia elétrica através de células a combustível ou de turbinas a gás (FERREIRA, 2003).

Além de aproveitar de maneira mais eficiente o potencial energético das hidrelétricas já instaladas, evitando a construção de outras barragens, esse processo poderia gerar um excedente para o mercado de hidrogênio, necessário para as células de combustível.

Este processo de produção, assim como outros, tende a se tornar cada vez mais eficientes e baratos. Com a crescente demanda e evolução dessas tecnologias, o armazenamento de energia na forma de hidrogênio em hidrelétricas deve se tornar recorrente em breve, segundo os secretários do CENEH.

O Brasil se mostra muito avançado ambientalmente em relação a outros países, mesmo desenvolvidos, quando o assunto é geração de energia elétrica. Emiti-se muito pouco GEE para se gerar muita energia elétrica. Porém, a infra-estrutura de distribuição elétrica ainda é deficiente, com altas taxas de quedas de energia, além do quadro de desigualdade social no país e as altas tarifas cobradas pelas concessionárias em algumas regiões do país, principalmente pobres, ainda são um obstáculo a um efetivo desenvolvimento sustentável (no sentido ambiental e social) nesse setor.

As células eletrolíticas poderiam ajudar nessa questão, convertendo a energia que seria desperdiçada em hidrogênio, para ser utilizada posteriormente em células a combustível. Isso poderia ser utilizado não só em hidrelétricas, mas também em estações eólicas ou solares, que sofrem do mesmo problema da intermitência.

2.4 – Os efeitos do uso intensivo de combustíveis fósseis: os Gases de Efeito Estufa

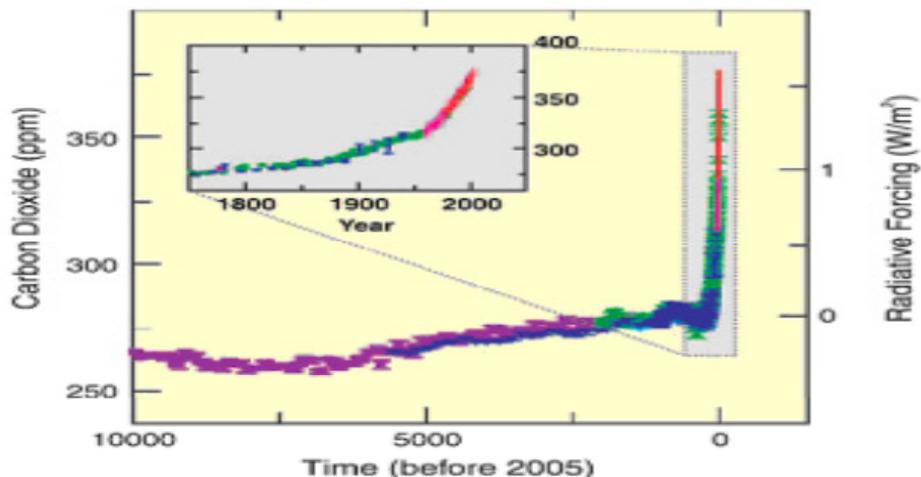
Praticamente a totalidade da luz e calor que temos na Terra provém do Sol. A luz e a radiação penetram a atmosfera e após atingirem a superfície da Terra são refletidas de volta para o espaço. Porém, alguns gases na atmosfera, os chamados Gases do Efeito Estufa (GEE) impedem que uma parte dessa radiação volte para o espaço e refletem-na de volta para a superfície, absorvendo calor e gerando o efeito estufa. Se não fosse esse fenômeno a Terra seria uma esfera gelada, imprópria para a vida.

Porém, desde a revolução industrial, os GEE se incrementaram de maneira significativa na atmosfera. Segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), nos últimos 200 anos (até 1994) os GEE se incrementaram em cerca de 30% na atmosfera, e a temperatura média na Terra subiu 1°C nos últimos 100 anos (ver gráfico 2.5) (IPCC, 1996, Apud: HINOSTROZA, 2000).

Observa-se uma maior preocupação com essa capacidade limitada do planeta pela evidência da intensificação do efeito estufa (EE), (que é apenas um dos aspectos das mudanças ambientais globais). (...) O CO₂ liberado pela queima de combustíveis fósseis, que impulsionaram a moderna sociedade industrial, é o gás de efeito estufa mais abundante emitido pelas ações antrópicas. Outros gases (metano (CH₄), clorofluorcarbonos (CFCs) - agora proibidos - e seus substitutos atualmente em uso, óxido nitroso, associado ao uso de fertilizantes) embora sejam emitidos em menor quantidade do que o CO₂ capturam mais calor (HINOSTROZA, 2000, p.2).

A cada ano, cerca de 6 bilhões de toneladas de CO₂ são lançados na atmosfera. O CO₂ representa 98% dos GEE antrópicos (lançados pelo homem), porém, corresponde por menos de 60% do efeito estufa causados por estes gases. A capacidade de um gás em contribuir para o aquecimento global é medida em relação ao CO₂ (O Indicador de Potência de Aquecimento Global - GWP - compara o efeito de 1 kg de determinado gás com 1kg de CO₂ – Ver tabela 2.6) e depende muito de seu tempo na atmosfera e das interações com outros gases como vapor d'água (ARAÚJO, 2006).

Gráfico 2.5 - Concentração de dióxido de carbono ao longo dos anos



Fonte: IPCC, 2007

Tabela 2.6 - Potencial de Aquecimento Global (GWP) por GEE e tempo na atmosfera

GEE	Fórmula	Tempo de vida (anos)	GWP em 20 anos	GWP em 100 anos	GWP em 500 anos	Contribuição para o EE
Dióxido de Carbono	CO ₂	Variável	1	1	1	55%
Metano	CH ₄	de 3 a 12	5.556	21	6,5	15%
Óxido Nitroso	N ₂ O	120	280	310	170	6%
CFCs	-	n.d	n.d	n.d	n.d	17%

Fonte: ÁLVAREZ Jr., LACAVA e FERNANDES, 2002. Apud: ARAÚJO, 2006

*n.d.: não-disponível

A maior parte dos GEE antrópicos lançados na atmosfera provém da queima de combustíveis fósseis. Porém, a derrubada de florestas também tem contribuído muito para esse fenômeno, já que as árvores retêm muito mais carbono do que plantações (uma floresta tropical retém 20 vezes mais carbono do que uma plantação de trigo, por exemplo), havendo um duplo efeito neste caso, já que com a derrubada de florestas todo esse carbono é liberado

na atmosfera com a queimada ou decomposição natural e ainda deixa-se de sequestrar o carbono da atmosfera. Estima-se que no mundo se desmata cerca de 650 mil km² de florestas por ano (HINOSTROZA, 2000).

No Brasil, essas mudanças no uso do solo e o desmatamento representam a maior parcela das emissões de GEE, contribuindo com cerca de 347 milhões de toneladas equivalentes de carbono (ver Tabela 2.7), enquanto a queima de combustíveis fósseis contribui com cerca de 84 milhões, colocando o Brasil como o **terceiro** maior emissor de GEE do mundo (United Nations Framework on Climate Change Convention - UNFCCC. GHG Inventory Data. Apud: GOLDENBERG, 2005).

Tabela 2.7 - Emissões de GEE por causas

	País	Emissões de Combustíveis Fósseis (MtC _{eq}) 2002	Emissões Devido a Mudanças de Uso do Solo e Desmatamento (MtC _{eq}) 2002	Emissões Totais (MtC _{eq}) 2002
1	Estados Unidos	1981	-188	1703
2	China	762	-160	601
3	Brasil	84	347	431
4	Federação Russa	392	-12	380
5	Japão	363	0	363
6	Índia	363	0	363
7	Alemanha	277	4	281
8	Canadá	199	-6	194
9	Indonésia	74	117	190
10	Reino Unido	173	1	174

Fonte: UNFCC, 2005 Apud: GOLDENBERG, 2005

O IPCC prevê um aumento de temperatura de 1,5°C a 4,5°C até 2050. Estima-se que a duplicação da concentração de GEE poderia reduzir em cerca de 2% a taxa de reflexão de

energia do planeta. Isso equivale ao conteúdo energético de 3 milhões de toneladas de petróleo por minuto (UNEP, 1993 Apud: HINOSTROZA, 2000).

Fora o aumento de temperatura, já sentido em algumas regiões e que deve elevar o nível do mar, outras alterações no clima já são perceptíveis. Por exemplo, o El Niño que acontecia a cada cerca de 15 anos tem acontecido a cada 2 a 8 anos. As estações do ano, chuvas e furacões também tem sido muito mais intensos (HINOSTROZA, 2000).

Além de afetar diretamente a vida humana, esse efeito também atinge milhares de espécies, como abelhas, que diminuíram drasticamente em algumas regiões, afetando a polinização e conseqüentemente a agricultura.

Porém, há muita controvérsia relacionada ao assunto. Apesar de serem minoria, muitos cientistas, considerados “céticos” a este respeito, defendem que a emissão de GEE antrópicos nada tem a ver com o aquecimento global, e que mesmo este não é um fato confirmado como a maioria imagina, defendendo que as alterações de temperatura fazem parte de um ciclo natural do planeta e que em duas décadas a temperatura média do planeta estará menor (VEIGA, 2008).

Uma das circunstâncias mais comuns sob a qual as sociedades não conseguem ter consciência de um problema desse tipo é quando ele toma a forma de uma tendência lenta, oculta por grandes e freqüentes variações. Como diz Jared Diamond, o melhor exemplo disso em tempos modernos é justamente o aquecimento global. Ele não quer dizer que o clima fique exatamente 0,01° C mais quente que o ano anterior. Ao contrário, varia aleatoriamente para cima e para baixo de ano a ano. Certo verão, a temperatura pode estar uns três graus mais alta que no anterior. No ano seguinte, ainda mais dois graus. Depois, o verão pode ficar quatro graus abaixo. Um grau mais frio no próximo, então cinco graus mais quente no outro, etc. Com flutuações tão grandes e imprevisíveis, demorou muito tempo até que a tendência média de aumento de 0,01° por ano fosse discernível (VEIGA, 2008, p.11).

Apesar das controvérsias, a maior parte dos cientistas concordam sobre a relação dos GEE e o aquecimento global, sendo este assunto debatido há décadas em diversos encontros internacionais (que veremos a seguir) e é atualmente uma das principais pautas das políticas ambientais de países desenvolvidos e em desenvolvimento.

O uso intensivo de combustíveis fósseis e seus efeitos, principalmente o aquecimento global, tem sido notado e discutido desde os anos 70. A primeira conferência internacional sobre o clima aconteceu em Genebra em 1979 e foi patrocinada pela Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization - WMO). Nela, identificou-se o CO2 como o principal causador do efeito estufa.

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento publicou um relatório intitulado “Nosso Futuro em Comum”, organizado por Gro Harlem Brundtland. Nele, é definidas uma série de medidas relacionadas ao desenvolvimento e o meio-ambiente, incluindo controle populacional. Várias comissões e organizações já se preocupavam com o meio-ambiente antes desta reunião. Mas o mais importante deste documento talvez seja a definição de “desenvolvimento sustentável”, conceito que nortearia vários discursos e políticas globais:

A humanidade possui a habilidade de promover um desenvolvimento sustentável, que assegure que as necessidades do presente não comprometerão a capacidade das gerações futuras em suprir suas próprias necessidades. O conceito de desenvolvimento sustentável implica limites - não exatamente limites, mas limitações impostas pelo atual estado da tecnologia e da organização social sobre os recursos naturais e pela capacidade da biosfera em absorver os efeitos da atividade humana (ONU, 1987 – tradução livre).

Porém, a primeira vez onde representantes governamentais discutiram a necessidade de se reduzir as emissões de CO2 foi em 1988, na Conferência de Toronto, que contou com a presença de representantes de 48 países. Nesta mesma reunião foi discutido a criação de um painel intergovernamental sobre o clima, que veio a ser estabelecido no mesmo ano pelas Nações Unidas e o WMO, o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), que publicou seu primeiro relatório em 1990.

A Segunda Conferência Mundial sobre o Clima foi realizada em Genebra, em 1990, que contou com a presença de representantes governamentais de 137 países e a União Européia. Apesar de estabelecer vários objetivos para os países desenvolvidos e em desenvolvimento diferencialmente, não se chegou a nenhum acordo sobre obrigatoriedade de cumprimento de metas. A partir de 1995 essas conferências organizadas pela UNFCCC passaram a ser chamadas Conferência das Partes (COP).

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 (mais conhecida como ECO 92), foi acordado a Convenção Marco das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change). Avançou-se em vários pontos e os países desenvolvidos se comprometeram em reduzir suas emissões aos níveis de 1990 para o ano 2000.

Nessas conferências, a adoção da perspectiva de Desenvolvimento Sustentável prevê que não se polua mais do que o planeta consegue reciclar. Atender às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de atender às gerações futuras (HINOSTROZA, 2000).

Uma das mudanças de perspectivas que a Convenção do Clima trouxe foi a de que o clima era agora considerado algo *híbrido*, advindo da capacidade natural da Terra e a ação do homem. Nessa mesma convenção também foi criado um importante documento, a Agenda 21.

Nesse documento, cada país desenvolve a sua Agenda, partindo da situação social, ambiental e econômica local, mas com objetivos em comum, como pensar a conservação do meio ambiente, desenvolvimento sustentável, conservar os recursos naturais e o planeta como um todo, desenvolver tecnologias mais limpas, além de considerar também questões como distribuição de renda, controle demográfico, educação, etc.

Porém, os governos dos países membros não estavam seguindo os objetivos firmados nessas conferências, já que não havia um compromisso formal ou legal (HINOSTROZA, 2000). Somente em 1997, na COP-3, que foi assinado o Protocolo de Kyoto, por 191 países e ratificado por todos os países desenvolvidos, com exceção dos EUA (maior emissor de GEE do mundo), onde ficaram estabelecidas normas internacionais legais obrigando os países desenvolvidos a reduzirem suas emissões em uma média de 5,2% comparado aos níveis de 1991 até 2012.

Na COP-15, realizada em Copenhague em 2009, em sua maioria os próprios presidentes de cada país participaram do encontro. Havia, portanto, muita expectativa de um acordo que avançasse em relação aos compromissos firmados no Protocolo de Kyoto. Porém, as partes envolvidas não entraram em um acordo e não estabeleceram nenhum compromisso formal. Após o fracasso em Copenhague, recentemente, na 16ª Conferência das Partes sobre o Clima (COP-16) em Cancún no final de 2010, alguns avanços foram alcançados. Foi aprovado o projeto sobre Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação (o

REDD+) e criado um Fundo Verde para financiar projetos e ações contra o aquecimento global nos países em desenvolvimento de até US\$100 bilhões por ano. Porém, uma sequência para o Protocolo de Kyoto foi deixada para depois, e o mundo continua emitindo 9 bilhões de CO₂ a mais do que deveria para manter o aquecimento global num nível "seguro", de até 2°C (Revista FAPESP nº179, janeiro de 2010; Folha de São Paulo, 12/12/2010).

A questão do aquecimento global e do desenvolvimento sustentável são questões que recentemente tem tido cada vez mais importância nas reivindicações sociais e agendas políticas da maior parte dos países. Desde a publicação de Primavera Silenciosa (CARSON, 1969), o meio ambiente tem se tornado uma das maiores preocupações da sociedade civil. Esse novo ambientalismo, ao contrário de seus precursores como o preservacionismo e o conservacionismo do início do séc XX, que colocavam o próprio meio ambiente como a preocupação central, coloca o ser humano no centro das questões. O meio ambiente é pensado como essencial para a vida e reprodução humana, e o seu esgotamento é visto como o fim da própria capacidade do ser humano sobreviver (McCORMICK, 1992).

É neste cenário que uso energético do hidrogênio emerge. O hidrogênio utilizado com as células a combustível, dependendo da forma como é produzido, através da eletrólise da água por meio de fontes renováveis, ou mesmo quando extraído de fontes fósseis com sequestro de carbono, não emite GEE. Desde o fim da década de 90, várias indústrias de automóveis começaram a pesquisar e desenvolver células a combustível e muitos países tem elaborado políticas nacionais para produção e distribuição de hidrogênio. Até mesmo uma sociedade internacional para o desenvolvimento e pesquisa contributiva da produção do hidrogênio e CaC foi criada em 2003, o IPHE - *International Partnership for the Hydrogen Economy*, que em 2009 mudou de nome para incluir as CaC, passando a se chamar *International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*. Essa e outras políticas serão melhor descritas e analisadas nos capítulos 3 e 5.

Capítulo 3: O Hidrogênio e as Células a Combustível

3.1 - O Hidrogênio

O Hidrogênio (H₂) é o elemento mais abundante do Universo, compondo cerca de 75% da massa do Universo e cobrindo 70% da superfície terrestre (RIFKIN, 2003). Porém, o hidrogênio não é encontrado livre na natureza. Como é muito quimicamente ativo, sempre se combina a outros elementos como ao Oxigênio, formando água, compostos orgânicos, etc. Por não ser encontrado diretamente na natureza, não é considerado uma fonte energética, mas sim um vetor energético.

O hidrogênio foi descoberto por Henry Cavendish, um cientista britânico que dedicou grande parte dos seus estudos à tentativa de compreensão da eletricidade (GLEISER, 2008). Em 1776, Cavendish enviou um estudo a Real Society of London descrevendo sua experiência onde demonstrava como decompor a água em dois elementos por meio do uso de uma corrente elétrica e depois recombiná-los formando novamente água. Chamou esses dois gases de “ar sustentador da vida” e “ar inflamável”. Mais tarde, em 1785, Antoine Lavoisier reproduziu os experimentos de Cavendish e chamou esses elementos respectivamente de “oxigênio” e “hidrogênio” (RIFKIN, 2003).

O hidrogênio possui muita energia. Praticamente toda a energia da Terra (com exceção da energia proveniente dos vulcões) provém do hidrogênio que se funde no núcleo do Sol formando hélio e que chega à Terra sob a forma de luz e calor. Os combustíveis fósseis também possuem hidrogênio.

Infelizmente, os combustíveis fósseis (como os provenientes do petróleo ou gás natural) ou orgânicos (como álcool) estão sempre associados ao carbono, em maior ou menor proporção², que é liberado no processo de queima em forma de monóxido de carbono (CO) - tóxico - e gás carbônico (CO₂), o principal causador do efeito estufa.

Apesar de não ser encontrado livre na natureza, o hidrogênio pode ser extraído de muitas fontes diferentes (ver figura 3.1), como água, carvão, petróleo, gás natural, etanol, energia solar, eólica, hidráulica, etc. Atualmente, a maior parte do hidrogênio (cerca de 80%)

² - À medida que o homem foi utilizando combustíveis mais eficientes, estes possuem uma proporção cada vez menor de carbono para cada átomo de hidrogênio. A relação energética da madeira é mais ou menos 2C para cada 1H; o Carvão 1C - 1H; o petróleo 1C - 2H; gás natural 1C - 4 H (RIFKIN, 2003).

é extraído de fontes não-renováveis e não é utilizado como combustível, mas sim, principalmente na indústria química, na produção de amônia para fertilizantes.

Desta forma, fica evidente que os principais países que demonstram interesse na implantação dessa nova economia são aqueles que apresentam uma maior demanda energética, e por consequência, os maiores níveis de emissões de gases de efeito estufa. A economia do hidrogênio também é uma solução para a questão de segurança energética causada pela grande dependência energética desses países por combustíveis fósseis importados, além de ser uma alternativa estratégica em países que possuem outras fontes de energia (CGEE, 2010, p. 13)

Neste cenário o Brasil ocupa uma posição de destaque, devido ao seu enorme potencial e utilização de fontes renováveis. Mesmo que os compostos orgânicos, como o álcool possuam carbono, a sua fonte é renovável, ou seja, a cana sequestra da atmosfera esse carbono, não expelindo mais carbono a ela, como no caso dos combustíveis fósseis que se retira do fundo da terra para se jogar na atmosfera.

O hidrogênio gerado a partir de fontes renováveis fecha um ciclo na natureza, o ciclo do hidrogênio, de mínimos efeitos ambientais, relativamente altas eficiências de processos, e sem perspectivas de esgotamento, uma vez que depende apenas da duração das fontes primárias renováveis tais como energia solar, eólica, disponibilidade de terras agriculturáveis, etc. Por todos os aspectos citados é que o hidrogênio é conhecido como o combustível do futuro, futuro este hoje imaginado já para o início do próximo século (Silva, 1991, p.7).

3.2 - Os processos de produção de hidrogênio

Apesar de ser conhecido desde o século XVI, foi somente no começo do século XX, a partir do processo de síntese de amônia que o hidrogênio passou a ter algum interesse industrial e produzido alguma quantidade. Mas só na segunda metade do século XX é que o hidrogênio passou a ser produzido em larga escala, devido aos avanços tecnológicos e à baixa do preço do gás natural (Silva, 1991).

No Brasil é produzido cerca de 40 milhões de toneladas de gás hidrogênio por ano, número que tende a dobrar a cada década. Porém, a maior parte provém de combustíveis

fósseis e são utilizados quase em sua totalidade na indústria química. O principal combustível utilizado atualmente para se produzir hidrogênio é o gás natural, seguido do petróleo (CGEE, 2010). Abaixo uma tabela com a proporção das fontes mais utilizadas:

FONTE	VOLUME ($10^9 \text{ M}^3 \text{ ANO}^{-1}$)	PARTICIPAÇÃO
Gás natural	19,6	48%
Petróleo	12,2	30%
Carvão	7,3	18%
Eletrólise (fontes diversas)	1,6	4%
<i>Total</i>	40,7	100%

Fonte: TOLMASQUIM, 2003 Apud: LOPES, 2009

O processo mais limpo para a obtenção do hidrogênio é a eletrólise da água. Este método consiste basicamente num processo eletrolítico que utiliza eletrodos em um meio condutor aquoso que dissocia os átomos de hidrogênio e oxigênio da água (H_2O), gerando unicamente hidrogênio e oxigênio.

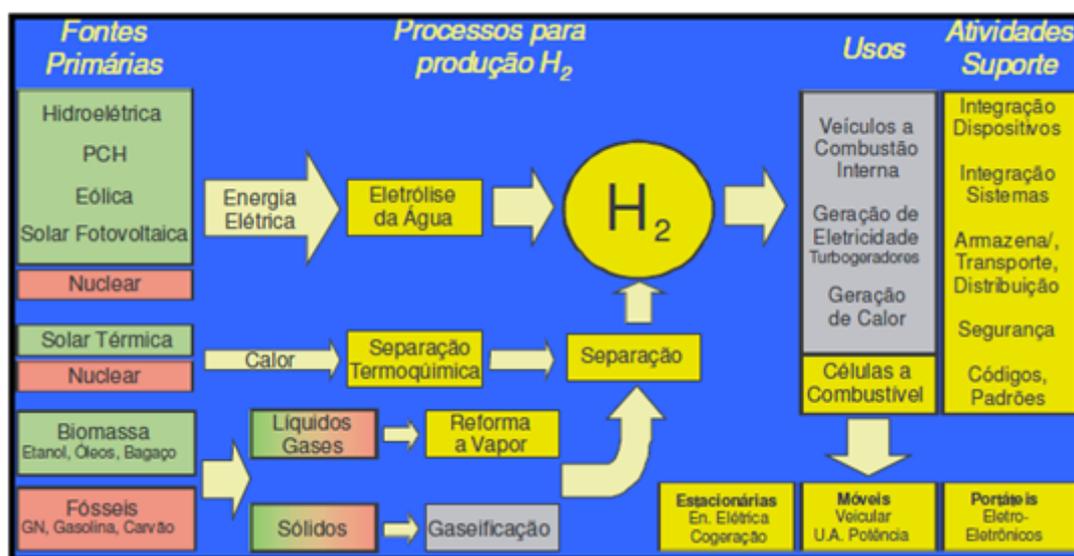
Além da eletrólise da água, diversos combustíveis fósseis ou renováveis, como carvão, petróleo, gás natural, biomassa, etc, também podem ser utilizados na produção de hidrogênio. Para isso existem também vários processos (ver figura 3.1). Os mais utilizados são a reforma-vapor e a gaseificação, mas existem outros processos.

A reforma-vapor é utilizada principalmente com hidrocarbonetos leves (combustíveis entre o metano e a nafta, como o gás natural), esses compostos reagem com água a elevada temperatura, resultando numa mistura de gases contendo principalmente hidrogênio. Na maior parte das vezes utiliza-se o próprio hidrocarboneto como fonte térmica para o sistema. Os processos subsequentes de tratamento do gás produzido pela reforma-vapor são semelhantes à gaseificação (Silva, 1991).

Outro processo muito utilizado é a gaseificação. Pode ser feita com diversos combustíveis primários, fósseis ou renováveis (como carvão, gás natural, biomassa, etc) e consiste em colocar esses combustíveis em determinadas condições de temperatura e pressão em reação com oxigênio, hidrogênio, água ou gás carbônico, resultando numa mistura gasosa de vários componentes (dependendo do combustível utilizado) entre eles o hidrogênio (Silva,

1991). No gráfico abaixo podemos ver os diversos processos para a produção de hidrogênio, incluindo a fonte de energia primária para estes processos e os seus possíveis usos.

Figura 3.1 - Processos para Produção de Hidrogênio



Fonte: LOPES, 2009, p.10.

Atualmente, a produção de hidrogênio ocorre principalmente através da reforma de combustíveis, em especial pela reforma-vapor do gás natural, e em menor escala também pela eletrólise da água.

Devido ao Brasil ser um dos maiores produtores de etanol do mundo (juntamente com os EUA), é de grande interesse para o país produzir hidrogênio de maneira eficiente através desse combustível renovável. Algumas pesquisas e projetos nessa área já estão em andamento, inclusive um projeto da UNICAMP, realizado no LH2 (Laboratório de Hidrogênio), participante do Programa Brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio do MCT (PROH2), criaram um protótipo de um reformador de etanol, que gera hidrogênio de maneira eficiente a um custo competitivo (LOPES, 2009).

De forma geral, o reformador é um dispositivo que processa o etanol em um gás rico em hidrogênio, (gás de síntese). Em seguida, este gás é purificado à qualidade exigida pela célula a combustível utilizada no sistema, que converte a energia química de seu combustível, o hidrogênio, diretamente em energia elétrica e água.

No projeto em questão, o hidrogênio gerado pelo protótipo utilizado, levando em consideração o custo para obtenção, manutenção e uso dos equipamentos (por 10 anos), sai a um custo de R\$30,34 por quilograma de hidrogênio, um preço extremamente competitivo comparado aos preços de mercado. Esse valor ainda tende a cair muito, conforme o aperfeiçoamento e desenvolvimento de novas tecnologias (LOPES, 2009).

Já o custo da energia elétrica gerada com o uso do conversor mais uma célula a combustível adequada sai por R\$2,30 por kWh. Esse custo é extremamente competitivo comparado a outros sistemas de geração elétrica como o fotovoltaico. Porém, nem se compara com o preço da eletricidade praticada pelas distribuidoras de energia (cerca de R\$0,27 por kWh). Mesmo assim, é uma ótima alternativa para comunidades isoladas do sistema elétrico brasileiro (LOPES, 2009).

3.3 - As Células a Combustível

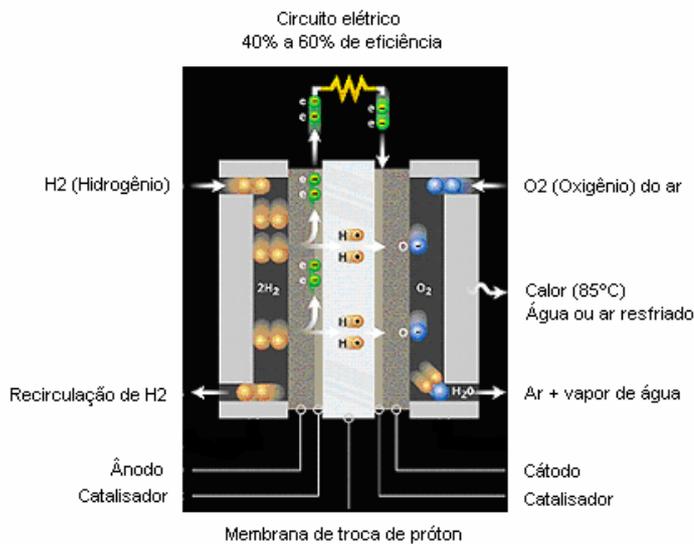
As células a combustível (CaC) são uma tecnologia antiga, do século XIX. A primeira célula a combustível foi construída por Humphrey Davy em 1801. Porém, foi somente reconhecida quando o galês Sir William Robert Grove desenvolveu a sua em 1842. Seu objetivo era tentar entender a decomposição da água, porém, reparou que o seu dispositivo gerava eletricidade. Entretanto, sua primeira utilização foi somente nos anos 60, nas missões Apollo, para gerar energia dentro da espaço-nave (Rifkin, 2003). Hoje em dia, os maiores fabricantes de células a combustível são a Ballards (Canadá), UCT (EUA) e Hitachi (Japão) (Souza, 2002).

Uma célula a combustível é formada basicamente de um conjunto formado por ânodo, membrana e cátodo, além dos componentes adicionais como placa de blindagem, catalisador, etc. São intrinsecamente mais eficientes que as máquinas de combustão interna por serem conversores diretos de energia. Elas podem operar com diversos tipos de combustíveis, como gás hidrogênio, gás natural, etanol. Usa como oxidante o oxigênio ou o ar. Mesmo quando usam hidrocarbonetos, geram menos poluentes do que os processos à combustão (Souza, 2002).

Seu funcionamento consiste basicamente da introdução de hidrogênio ou outro combustível junto ao compartimento do ânodo (pólo negativo), onde os prótons de hidrogênio passam pela membrana e os elétrons fluem por um circuito externo até o cátodo (pólo

positivo), gerando eletricidade. Do lado do cátodo, é injetado ar ou oxigênio que combina-se novamente com o hidrogênio formando água (ver figura 3.2). O resultado é basicamente energia e água, de maneira muito eficiente, ou seja, com baixa perda de energia através de outras formas como calor e resíduos.

Figura 3.2 - Esquema de funcionamento de Célula a Combustível do tipo PEM



Fonte: ROHRICH, 2008.

Os gases de alimentação da célula são introduzidos via canais de fluxo, impressos nas placas coletoras de corrente, geralmente feitas de grafite. O hidrogênio é alimentado numa célula de combustível junto ao compartimento anódico e esse gás em contato com a platina contida no ânodo e com o eletrólito, origina por catálise a formação de prótons (ions de hidrogênio) e elétrons. Os prótons fluem pelo eletrólito, a membrana polimérica, atravessando-a e, novamente com o auxílio da platina contida agora no cátodo, se combinam com o oxigênio, produzindo água no compartimento catódico. Os elétrons não passam através da membrana, mas fluem do ânodo para o cátodo através de um circuito externo, no qual se tem um motor ou outro dispositivo de carga elétrica. A membrana favorece a condução iônica, enquanto pelo circuito externo dá-se a condução eletrônica (SOUZA, 2002, p. 22-23).

As células de combustível apresentam inúmeras vantagens em comparação com outros transformadores de energia, como o motor a combustão. Entre elas, a ausência de partes móveis, o que gera uma operação silenciosa e evita desgastes; um projeto simples; alta eficiência; emissão nula de poluentes (dependendo da alimentação, por exemplo, quando alimentado por hidrogênio); podem operar com diversos tipos de combustíveis - como hidrogênio, metanol, gás natural, entre outros.

Há diversos tipos de células de combustível (Tabela 3.2) desenvolvidas e muitas em desenvolvimento. Cada uma funciona de uma forma ligeiramente distinta, utilizando diferentes tipos de eletrólito (substância utilizada para dissociar os elétrons dos átomos de hidrogênio), combustíveis, catalisadores, etc. A temperatura de ativação entre elas difere e produzem reações diferentes, gerando eficiências distintas. Cada uma possui um uso adequado diferente. Atualmente, a eficiência das células a combustível está na casa dos 60% (FERREIRA, 2003).

Tabela 3.2 - Tipos de Células a Combustível

Tecnologias			Descrição e Aplicações		
Célula a Combustível	Denominação em inglês	Siglas em inglês	Eletrólito	Temp. (°C)	Aplicações Potenciais
Alcalina	<i>Alkaline</i>	<i>AFC</i>	Alcalino	50-200	Transporte, Espaço
Eletrólito Polimérico	<i>Polymer Electrolyte</i>	<i>PEFC</i>	Polímero	50-80	Transporte, Geração Distribuída
Metanol Direto	<i>Direct Methanol</i>	<i>DMFC</i>	Polímero (metanol direto)	60-130	Transporte, Geração Distribuída
Ácido Fosfórico	<i>Phosphoric Acid</i>	<i>PAFC</i>	Ácido Fosfórico	190-210	Cogeração, Geração Distribuída
Carbonato Fundido	<i>Molten Carbonate</i>	<i>MCFC</i>	Carbonato Fundido	630-650	Cogeração, Geração Distribuída ou Centralizada
Óxido Sólido	<i>Solid Oxide</i>	<i>SOFC</i>	Óxido Sólido	700-1000	Cogeração, Geração Distribuída ou Centralizada

Fonte: MCT, PROCaC, 2002.

O tipo mais desenvolvido no Brasil e no mundo é a PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, ou Célula de Combustível Membrana de Troca de Prótons). Ela é a mais adequada para utilização em automóveis, por funcionar com baixa temperatura de ativação.

Em segundo lugar vem a SOFC (Solid Oxid Fuel Cell, ou Célula de Combustível de Óxido Sólido), com alta temperatura de ativação e também eficiência, é ideal para a geração estacionária. Há muitos tipos de CaC em fase de pesquisa e desenvolvimento, porém, esses dois último tipos já devem entrar na fase comercial em poucos anos (ROHRICH, 2008).

A PEMFC se mostra extremamente promissora para o uso em automóveis. Por funcionar a uma baixa temperatura de ativação, não precisa ficar esquentando até começar a funcionar, como alguns outros tipos de CaC, podendo dar início de imediato ao funcionamento de um carro. Ainda, por ter uma grande densidade de potência (mais de 600mW/cm²), uma PEMFC pode ser pequena, mais ou menos do tamanho de um motor. Possui ainda vantagens sobre um carro elétrico, já que é muito menor e mais leve do que as baterias necessárias a um carro deste tipo, e pode ser recarregada muito mais rápido (como encher um tanque, ao invés de uma noite inteira recarregando). Além de tudo, sua autonomia pode ser maior que qualquer carro elétrico ou à combustão, podendo percorrer milhares de quilômetros com poucos quilos de Hidrogênio³ (SOUZA, 2002).

Porém, a PEMFC possui uma desvantagem: somente hidrogênio purificado pode ser utilizado nesta célula. Os hidrocarbonetos devem ser reformados, pois, pequenas quantidades de elementos estranhos já podem causar danos ao catalisador (FERREIRA, 2003).

Já a SOFC é um dos tipos mais eficientes e estáveis. Por ser de alta temperatura de ativação, não é adequado ao uso em automóveis, mas ideal para geração estacionária. Além disso, a SOFC não necessita de hidrogênio purificado. A SOFC tem se mostrado como uma ótima alternativa para geração de energia em comunidades isoladas do sistema elétrico, podendo substituir os tradicionais motores a querosene utilizados normalmente. (Rohrich, 2008; FERREIRA, 2003).

3.4 – Uso de células a combustível no setor veicular

Há diversas possibilidades técnicas para a utilização de CaC e a economia do hidrogênio (mais detalhes a esse respeito no capítulo tal) que podem vir a ser vantajosas para o meio ambiente e a economia até agora.

³ - "Carro movido a hidrogênio percorre 3.000 km e quebra recorde", Folha de São Paulo, Ciência, 28/09/2004 disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u12472.shtml> (acesso em 14/01/2010)

O setor veicular é um dos que podem ser mais beneficiados com esse tipo de tecnologia. Atualmente já há diversos projetos e protótipos de carros movidos a hidrogênio em várias partes do mundo. Carros movidos a hidrogênio devem se tornar comercialmente viáveis e circular pelas ruas ainda nessa década segundo previsão dos secretários do CENEH.

O transporte público também pode ser um grande beneficiado pelas CaC e o hidrogênio, com a vantagem de que o hidrogênio necessário pode ser produzido nas próprias garagens. Já há inclusive projetos no Brasil de ônibus movidos a hidrogênio, e alguns já estão circulando nas cidade de São Paulo⁴ e Rio de Janeiro⁵.

Um estudo realizado pelo IPHE juntamente com 30 organizações entre indústrias automobilísticas e companhias de óleo e gás chegaram a resultados bastante animadores para 2050.

No estudo (IPHE, 2010), prevê-se que para cortar as emissões na Europa em 80% - necessário para estabilizar as emissões de CO₂ a um nível que mantenha o aquecimento global num nível seguro, de aumento de no máximo 2°C - é necessário descarbonizar o transporte rodoviário em 95%.

Para isso, criaram 3 cenários possíveis, onde o mais viável parece ser o de que até 2050, 25% dos veículos sejam movidos a célula a combustível (ideais para carros grandes e viagens médias e curtas), 35% de veículos elétricos à bateria (ideais para carros menores e viagens curtas), 35% de veículos anfíbios (ideais para carros maiores e longas distâncias), movidos à bateria e biocombustível, e 5% dos veículos movidos à tradicional combustão interna.

Os carros movidos a célula a combustível (FCEVs - fuel cell electric vehicles) são os menos poluente (só emitem vapor de água) e têm incrementado a sua eficiência e custos competitivos significativamente nos últimos anos, e espera-se que até 2020 estejam comercialmente competitivos.

⁴ - "Ônibus brasileiro movido a hidrogênio começa a rodar em São Paulo", 08/04/2009, disponível em <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=onibus-brasileiro-movido-a-hidrogenio-comeca-a-rodar-em-sao-paulo> (acesso em 14/01/2010).

⁵ - "Ônibus nacional que não polui usa hidrogênio como combustível", 26/05/2010, disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2010/05/onibus-nacional-que-nao-polui-usa-hidrogenio-como-combustivel.html> (acesso em 14/01/2010).

FCEVs have a driving performance (similar acceleration), range (around 600 km) and refueling time (< 5 minutes) comparable to ICEs. They are therefore a feasible low-carbon substitute for ICEs for medium/larger cars and longer trips, potentially achieving 80% CO2 reduction by 2030 compared to today (IPHE, 2010, p.6)

Para a produção do hidrogênio, considerou-se inicialmente (para 2020) a produção a partir da reforma-vapor do gás-natural e, gradualmente, substituindo a produção por fontes renováveis e implementação de sistemas de captura de carbono em produções que utilizam hidretos como gás-natural.

O estudo indica que o custo para a construção da infraestrutura do hidrogênio (incluindo produção, armazenamento, distribuição e varejo) para uma região do tamanho da Alemanha (equivalente mais ou menos ao sudeste brasileiro) suficiente para 1 milhão de carros movidos a hidrogênio ficaria em torno de 3 bilhões de euros inicialmente para a primeira década e entre 2 e 3 bilhões de euros para as décadas seguintes.

the additional costs of a hydrogen infrastructure are relatively low compared to the total costs of FCEVs and comparable to other fuels and technologies, such as a charging infrastructure for BEVs and PHEVs. Costs for a hydrogen distribution and retail infrastructure are around 5% of the overall cost of FCEVs - if FCEVs make commercial sense – as demonstrated by this study – building a dedicated hydrogen infrastructure can be justified (IPHE, 2010, p. 7).

A conclusão é de que a descarbonização do setor veicular é essencial para a descarbonização da economia, já que o setor veicular responde pela maior parte da utilização de combustíveis fósseis - semelhante ao Brasil - ao mesmo tempo em que se mostra completamente viável num futuro próximo, a começar em 2020 e aumentando gradualmente até se chegar ao cenário previsto para 2050.

Outro estudo semelhante foi realizado para a Região Metropolitana de São Paulo. O estado de São Paulo é o maior consumidor de energia automotiva do país e só a Região Metropolitana de São Paulo possuía mais de 7 milhões de veículos até 2003, o que representava 1/5 da frota nacional. Neste estudo, demonstra-se que a introdução de uma frota

de veículos semelhante conforme as tendências observadas em outras cidades da Europa e EUA reduziria as emissões de CO₂ em cerca de 77% (ARAÚJO, 2006).

Além do CO₂ que emitem - o principal gás do Efeito Estufa - os carros atualmente roubaram o status das indústrias e são hoje em dia os maiores responsáveis pela poluição do ar das cidades, responsáveis por 80% dos poluentes e 98% do monóxido de carbono, o mais nocivo à saúde humana (SILVA, 1997).

Em 1986 o Conselho Nacional de Meio Ambiente estabeleceu o PROCONVE, baseado em programas dos países desenvolvidos, para regular os níveis admissíveis de emissão pelos veículos automotivos. Porém, esses padrões não são suficientes para controlar a poluição de cidades ou aglomerados lotados de carros, como é a totalidade das grandes cidades no Brasil (ARAÚJO, 2006).

Na maior parte das vezes que uma indústria produz algo nocivo para o meio ambiente, o valor do prejuízo não é embutido no valor do produto, sendo a sociedade em geral que arca com as consequências da poluição e resíduos. É preciso medir e cobrar dos fabricantes os danos à saúde e ambientais que seus produtos geram. Um estudo indica que os danos somente pelos veículos leves ao meio ambiente ficam entre 0,6 e 5 centavos de dólar por quilômetro rodado. (AZUAGA, 2000 Apud: ARAÚJO, 2006). Outro estudo indica que os custos anuais de saúde atribuídos à poluição atmosférica são de pelos menos US\$ 15 milhões só no município de São Paulo (MIRAGLIA, 2000 Apud: ARAÚJO, 2006).

A emissão de CO₂ e poluentes poderia ser significativamente reduzida caso fossem fabricados e adotados carros que utilizassem CaC movidos a hidrogênio. Já existem varias empresas do setor automobilístico com projetos de carros experimentais rodando atualmente e de produção de automóveis movidos a hidrogênio. A Toyota, juntamente com a GM possui um dos maiores programas do mundo em veículos a CaC, inclusive com um acordo de troca de tecnologia em CaC com esta. A General Motors tem a meta de ser a primeira a vender um milhão de veículos que utilizam CaC. A Honda foi a primeira a receber certificado de emissão zero na Califórnia e aluga em 2003 30 veículos a CaC nesse mesmo estado. A Ford tem a meta de produzir 50 mil veículos movidos a CaC por volta de 2010. A DaimlerChrysler tem o maior programa de demonstração de veículos movidos a CaC, incluindo ônibus. A PSA Peugeot Citroën pretende adotar as CaC para recarregar em situações especiais as baterias de seus carros elétricos. A FIAT, Hyundai, Nissan, entre outras, também possuem protótipos e projetos de produção de carros que utilizam CaC. Segundo a revista Fuel Cell Today existia

até 2003 em torno de 200 veículos com célula a combustível (FCV) construídos e funcionando no mundo. Dos veículos produzidos, aproximadamente 96% usam célula do tipo PEM (ARAÚJO, 2006).

A Ballard Power Systems, a maior produtora no mundo de CaC do tipo PEM (a mais adequada para o uso em veículos) afirmou que seu veículo com célula a combustível do tipo PEM poderá ser tão barato quanto um veículo de combustão interna, desde que se produzam mais de 200.000 veículos por ano. Porém, para alcançar tal produção terão que contar com apoio político e público (ARAÚJO, 2006).

O que falta para acelerar a introdução desta nova economia no planeta? Resumidamente, redução de custos, tanto da produção de hidrogênio como de células a combustível; amadurecimento destas mesmas tecnologias para aplicações automotivas, estacionárias e portáteis e instalação de infra-estrutura adequada à sua utilização (LINARDI, 2008).

3.5 – A geração estacionária distribuída

Outra possibilidade técnica para utilização das CaC é a geração estacionária distribuída. Essa modalidade poderia atender comunidades isoladas do sistema elétrico, substituindo os tradicionais geradores a querosene por células a combustível do tipo SOFC.

Alguns autores apontam também um grande potencial a ser explorado com o uso da geração distribuída a partir das CaC (Rifkin 2003). Poder-se-ia desconcentrar a produção e distribuição energética (um dos maiores problemas do sistema elétrico brasileiro, devido às enormes distâncias entre usinas e distribuidoras). Num futuro onde as CaC estivessem mais baratas, cada casa poderia gerar sua própria energia, assim como produtores já fazem. Mas esse é um projeto mais distante.

Porém, há vários problemas e desafios que precisam ser superados para que as células de combustível funcionem de maneira adequada, sem poluir e numa larga escala comercial. O primeiro e maior problema é a obtenção do hidrogênio, necessário para alimentar as CaC. As pesquisas em células a combustível, por se tratar de uma tecnologia antiga e já amplamente explorada, inclusive por grandes organizações, como a NASA, está muita mais avançada do que as pesquisas sobre obtenção do hidrogênio. Este elemento não é encontrado isolado na natureza, tendo que ser obtido através de outras fontes, renováveis ou não. Enquanto a

obtenção do hidrogênio não baratear e compensar o uso de combustíveis fósseis, as CaC não poderão substituir os motores e a economia tradicional baseada no petróleo (Rohrich, 2008).

Deve-se ressaltar que o baixo custo da economia baseada no petróleo é uma ilusão, já que não estão embutido nesses calculos os custos da degradação social e ambiental. Enquanto o custo da degradação ambiental não for embutido no preço da produção dos combustíveis fósseis e as tecnologias limpas não tiverem compensações tributárias e subsídios, tecnologias limpas não substituirão as tecnologias tradicionais (Rohrich, 2008; HINOSTROZA, 2000).

3.6 - As políticas internacionais e nacionais em relação às CaC e o hidrogênio

Apesar de se conhecer desde o sec. XVIII a capacidade energética do hidrogênio, este não foi muito explorado até o sec. XX. Somente em 1920 o uso energético do hidrogênio começou a ser explorado, primeiramente a aviação e depois em outros veículos (RIFKIN, 2003). Mesmo assim, seu uso energético foi muito restrito e em grande parte apenas experimental, ficando um pouco abandonado após o desastre com o zeppelin Hindenburg em 1937 nos EUA, devido a ser altamente inflamável.

Foi somente na década de 1970, com a crise do petróleo, que o hidrogênio voltou a ser cogitado por cientistas e engenheiros como forma de energia. Em 1973 ocorreu a primeira Conferência Internacional sobre o Hidrogênio, em Miami, e resultou na criação da International Association for Hydrogen Energy e do periódico International Journal of Hydrogen Energy (RIFKIN, 2003).

Nos anos seguintes, tanto os EUA quanto a Europa começaram a investir alguns milhões de dólares em pesquisas sobre o hidrogênio. Porém, esses recursos foram sendo reduzidos conforme o mercado do petróleo foi se reestabilizando na década de 80 (RIFKIN, 2003).

Apenas no início da década de 90 o interesse pelo hidrogênio voltou a aumentar, após as publicações sobre o aquecimento global devido à hipótese da emissão principalmente de CO₂ através do uso dos combustíveis fósseis (RIFKIN, 2003). A partir de então, o uso do hidrogênio como vetor energético passou a ser de grande interesse para os países desenvolvidos e preocupados com o aquecimento global e grandes quantidades de recursos

passaram a ser destinados à sua pesquisa e vários projetos tecnológicos e planificações começaram a ser implementados.

Em 1992, o Instituto Fraunhofer de Sistemas de Energia Solar, na Alemanha, criou a primeira residência solar, empregando o hidrogênio para armazenar energia durante longos prazos. No ano seguinte, o Japão destinou dois bilhões de dólares a um plano de 30 anos para promover a energia do hidrogênio pelo mundo. Em 1994, os primeiros ônibus abastecidos com hidrogênio ganharam as ruas em Geel, na Bélgica. O Departamento de Trânsito de Chicago começou a testar seus próprios ônibus a hidrogênio um ano depois. O Royal Dutch/Shell Group ensaiou os primeiros passos na era do hidrogênio em 1998, escalando uma “Equipe do Hidrogênio” para explorar possibilidades comerciais e um ano depois criou uma divisão do hidrogênio. (...) Em 1999 a Islândia anunciou um ambicioso e ousado plano de longo prazo para se tornar a primeira economia do hidrogênio do mundo (RIFKIN, 2003, p. 186-187).

A General Motors foi a primeira a utilizar a expressão “economia do hidrogênio”, na década de 70, quando passaram a encarar o hidrogênio como o combustível do futuro. Em 2003, os países membros da IEA (*International Energy Agency*) se juntaram para discutir a formação de um grupo internacional para programas de P&D e políticas estratégicas em tecnologias do hidrogênio. No mesmo ano foi criado o IPHE (*International Partnership for Hydrogen Economy*). O IPHE consisti numa parceria internacional, formada por dezessete países, incluindo o Brasil, proposta pelos EUA para estimular políticas e pesquisas públicas e privadas para as tecnologias do hidrogênio e a economia do hidrogênio, assim como regulamentos.

A IPHE (International Partnership for the Hydrogen Economy) é um mecanismo internacional criado para organizar e implementar a pesquisa, o desenvolvimento, a demonstração e a utilização comercial de atividades relacionadas ao hidrogênio e a célula a combustível. A IPHE é liderada pelos Estados Unidos e foi estabelecida em 2003 como uma instituição internacional para acelerar a transição para a Economia do Hidrogênio, bem como para estabelecer os critérios e procedimentos a serem cumpridos pelos países membros (ROHRICH, 2008, p. 47).

Uma das principais razões dos países envolvidos na implantação da economia do hidrogênio é o fato do hidrogênio ser um vetor energético limpo e que pode ser obtido de uma infinidade

de fontes diferentes, fósseis ou renováveis. É interessante notar que é a primeira vez que um critério não econômico, no caso, o ambiental, conta para uma política energética internacional (PEREIRA, 2003).

Em 2003 o IPHE definiu as áreas prioritárias para a transição para a Economia do Hidrogênio, que são: P&D em células a combustível; produção do hidrogênio; armazenagem do hidrogênio; regulamentos e padrões para as células a combustível e o hidrogênio; e questões socioeconômicas para o hidrogênio. Os documentos oficiais referentes a cada área foram denominados *Scoping Papers*, e o Brasil participa de todos (ROHRICH, 2008).

No Brasil, o maior financiador em projetos de pesquisa em Células a Combustível e Hidrogênio até o momento é a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), que, até 2007, financiava 21 projetos, no valor aprovado de R\$40mi. Em segundo lugar vem a FAPESP, com 199 projetos e R\$26mi (ver Tabela 3.3). No total foram contados 287 projetos até 2007 e um valor aprovado de quase R\$98mi (MATOS, 2009).

Tabela 3.3 – Financiamentos em pesquisas em CaC e Hidrogênio

Fonte de Fomento	Nº projetos	Investimento (Reais)
FINEP	21	R\$ 40.630.277,88
FAPESP	199	R\$ 26.985.285,82
P&D Aneel	19	R\$ 21.318.538,10
CNPq	43	R\$ 8.930.522,90
FAPERGS	3	R\$ 38.100,00
FAPESC	1	R\$ 17.878,00
FAPESC	1	R\$ 17.878,00
FAPEMIG	0	R\$ 0,00
Fundação Araucária	0	R\$ 0,00
TOTAL	287	R\$ 97.976.580,70

Fonte: MATOS, 2009, p. 43.

Em 2002, o MCT criou o Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível (PROCaC) com o objetivo de organizar uma rede de pesquisas e promover ações integradas e cooperadas, que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de sistemas célula a combustível (MCT, Portaria nº 731, de 14.11.2002).

Em 2005 o programa passou a se denominar Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH₂) e estruturou cinco redes de pesquisa. Ao mesmo tempo, em 2004 o Ministério de Minas e Energia (MME) criou o Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. Baseado no PROCaC e em sintonia com o MCT, o MME criou o programa para estimular pesquisas e políticas energéticas baseadas no hidrogênio. O objetivo do programa é que até o ano de 2025 o hidrogênio seja introduzido na matriz energética brasileira de maneira expressiva, como foi feito com o álcool.

Estes programas, assim como a sua implementação até o momento serão melhor explorados no capítulo 5. Antes disso, apresentaremos no próximo capítulo um breve histórico dos estudos sociais da ciência e o nosso referencial teórico, no caso a Teoria Ator-Rede de Bruno Latour e Michel Callon, a qual utilizaremos para analisar os dados colhidos com a nossa pesquisa de campo.

Capítulo 4: Os Estudos Sociais da ciência

4.1 - Introdução

Neste capítulo, pretendemos fazer um resumo dos principais autores e contribuições para o que hoje chamamos de estudos sociais da ciência e também apontar a corrente teórica que escolhemos para a análise do estudo de caso desta pesquisa, no caso, a teoria Ator-Rede de Bruno Latour e Michel Callon.

Os estudos sociais da ciência têm sua origem na sociologia do conhecimento, que foi a primeira tentativa de se estudar a relação entre o conhecimento e a sociedade. Iniciada por Mannheim na década de 1930, a sociologia do conhecimento procurava entender as condições sociais sob as quais o conhecimento era gerado e mantido. Para Mannheim (1974 [1929]), o conhecimento é um produto histórico, fruto das condições sociais de uma época, como o modo de produção e as lutas classe. Mannheim já considerava o conhecimento como um instrumento de poder, ligado à ideologia.

Na década de 50, Robert K Merton funda a sociologia da ciência. Através dessa nova disciplina baseada na sociologia do conhecimento, Merton tenta responder questões como: o quê a ciência tem de específico em relação às outras esferas sociais; em que o conhecimento científico se diferencia do produzido pelo restante da sociedade; como a ciência se mantém autônoma e quais os benefícios disso, etc (MERTON, 1970).

Esses estudos tentavam compreender a relação institucional da ciência com o restante da sociedade e suas interações. Porém, não tocavam na questão do conteúdo científico. O primeiro cientista a pensar como o conteúdo científico se estruturava e se transformava ao longo do tempo foi Thomas Kuhn, no início da década de 60. Em seu famoso livro, “A estrutura das revoluções científicas”, Kuhn (2005 [1962]) tenta compreender como os conceitos e fatos científicos se transformam ao longo do tempo. Para ele, o pensamento dos cientistas é orientado ao longo de uma pesquisa através do que ele chama de paradigma científico, e a mudança viria não por meio da acumulação de conhecimento, mas sim através do esgotamento de um paradigma e o inevitável surgimento de um novo, ou o que chama de “revoluções científicas”.

Essa nova maneira de ver a ciência gera muitas discussões a partir de então sobre o quê a ciência tem, portanto, de especial em relação a outros conteúdos que já eram

considerados de natureza social, como a cultura em geral. Teóricos mais radicais como Paul Feyerabend (2011 [1975]) propõem que a ciência não tem nada de especial e que não existe um método universal de descrição da natureza, como propõe a epistemologia.

Na década de 70, David Bloor (1998 [1976]) inova ao formular o “Programa Forte nos Estudos da Ciência”. Ao contrário do que chama de “Programa Fraco” - onde, segundo ele, bastava elencar alguns fatores sociais que estavam de alguma forma ligados à dimensão cognitiva da ciência -, Bloor vai enfatizar a importância de se levar em conta tanto o contexto social quanto a dimensão social presente no conteúdo científico. Dessa forma, simetriza as causas que geram tanto o erro quanto o sucesso ou a verdade na ciência. Preocupa-se em aplicar à própria ciência que investiga a ciência esses pressupostos. A produção do conhecimento científico deveria ser tomada agora como um contexto específico da sociedade moderna, que gera através dos mesmos métodos e instrumentos o que considera posteriormente uma verdade ou um erro, e não como resultado de pura lógica e empirismo como propõe a epistemologia.

A partir do Programas Forte, vários autores surgem no fim da década de 70 no que ficou conhecido com “estudos de laboratório”. Um deles é Bruno Latour, que nesse período estudou um laboratório de neuroendocrinologia na Califórnia. Latour e Woolgar (1997) se colocam a compreender a produção dos fatos científicos nesse laboratório a partir de um ponto de vista etnográfico. Os autores partem de uma concepção geertziana da cultura para tomar o conhecimento científico produzido no laboratório como uma inscrição literária. Os fatos científicos, segundo eles, seriam construções produzidas por uma coletividade de pessoas e equipamentos (posteriormente *humanos e não-humanos*) que vão gradualmente se estabilizando até se tornarem fatos inegáveis (ou rejeitados) por toda a comunidade científica. Daí pra frente, Latour irá desenvolver muitos estudos e conceitos para tentar compreender a produção dos fatos científicos e sua manutenção, chegando à conclusão de que a sociedade moderna se engana muito em achar que conseguiu separar natureza e sociedade (Latour, 1994).

Ao mesmo tempo, a questão da construção dos fatos científicos é abordada de maneira diferente por Pierre Bourdieu. Segundo o autor (BOURDIEU, 2001; 2004) a ciência possui uma estrutura hierárquica, e é através do estudo dessa estrutura que se deve explicar a construção dos fatos científicos. Para Bourdieu, a ciência é organizada como um campo de forças, onde os cientistas se comportam como agentes que lutam entre si pela verdade por

meio do que chama de “capital científico”. Nesta visão da ciência, os fatos científicos devem ser vistos de maneira crítica para evitar cairmos em ingenuidades ou visões empresariais da ciência. O autor tem como principal preocupação a autonomia do campo científico e não trabalha muito a questão da prática da construção do conteúdo científico.

4.2 – A Sociologia da Ciência de Robert Merton

Robert K. Merton, sociólogo americano da linha funcionalista, foi o primeiro a escrever sobre a relação entre a ciência e a sociedade inaugurando, assim, a sociologia da ciência na década de 50. Baseado nas concepções de Karl Mannheim e nas análises de Scheler, Merton (1970) descreve a respeito do papel, importância e funcionamento da ciência na sociedade moderna.

Merton (1970) é o primeiro a analisar a relação dinâmica que a ciência possui com os outros setores sociais. Apesar de defender a autonomia da ciência quanto aos seus métodos e pesquisas, enfatiza que a ciência não está isolada do resto da sociedade. O autor demonstra isso melhor através de um estudo que fez analisando a relação do desenvolvimento da ciência com o puritanismo, então preponderante na Inglaterra no século XVII. A Inglaterra foi o primeiro país a fundar uma academia científica (a Royal Society, fundada em 1660) e o puritanismo foi essencial nesse processo. Para os puritanos, a melhor maneira de se glorificar Deus era entendendo a sua obra cientificamente. Esse interesse canalizou o cultivo da ciência na Inglaterra, enquanto que nos outros países católicos da Europa na época, a ciência era algo ainda muito pequeno, praticada por poucos e de forma não institucionalizada, quando não, inexistente.

Para Merton, (1970) o que caracteriza a ciência moderna enquanto uma instituição autônoma em relação ao restante da sociedade é o que ele chama de *ethos científico*. O autor defende que os cientistas possuem um complexo de valores e normas que se constituem como obrigação moral e orienta as pesquisas científicas.

O “ethos” da ciência se refere a um complexo de tom emocional de regras, prescrições, costumes, crenças, valores e pressupostos, que obrigam moralmente os cientistas. Algumas fases desse complexo poder ser metodologicamente desejáveis, mas a observância das regras não é dita somente por considerações metodológicas. Este “ethos”, como os códigos sociais em

geral, é apoiado pelos sentimentos daqueles a quem se aplica (Merton, 1970, p. 641 – nota de roda-pé nº16).

Esse ethos seria o “ingrediente cultural” da ciência, ou uma ideologia científica, que distingue a atividade científica do resto das atividades sociais e garantiria sua estabilidade e autonomia. Ele é assimilado em graus diferentes por cada um. O autor define quatro características principais desse ethos:

- a) **Ceticismo organizado**: Não se deve ter fé ilimitada. Muito pelo contrário, o cientista deve questionar tudo e estar sempre aberto a críticas. Os cientistas não devem se deixar influenciar pelas suas convicções pessoais. A ciência não deve interferir em outras áreas, assim como deve também ter sua autonomia perante as outras esferas sociais;
- b) **Comunismo**: As descobertas substantivas da ciência são produtos da colaboração social e estão destinadas à comunidade científica como um todo. As descobertas, revelações e teorias científicas estão abertas a qualquer um que esteja interessado em estudá-las, desde que se cite o cientista responsável por tais descobertas ou teorias;
- c) **Universalismo**: a ciência se dá independente da raça ou nacionalidade. Ela está em contato e influência direta da cultura maior, porém a ciência se dá como se fosse uma cultura superior, com seus métodos e critérios impessoais e de uso universal, o que possibilita cientistas de diversas nacionalidades a dialogarem como se fizessem parte de uma mesma cultura;
- d) **Desinteresse**: O cientista deve estar desinteressado de ganhos pessoais ou extra-científicos. O único interesse do cientista deve ser com a própria ciência e a busca da verdade, se vangloriando apenas de sua contribuição científica. Segundo o autor, tentativas de eclipsar rivais são problemáticas, porém, raras.

Merton (1970) também é um dos primeiros a pensar na inovação e seus impactos na sociedade. Para ele, pode haver um conflito entre a ciência e a sociedade quando a ciência produz teorias que contradizem as crenças e valores das pessoas. Por isso, atenta que deve-se tomar cuidado para não transformar o ceticismo organizado em iconoclastia.

O autor também alerta que inovações tecnológicas podem ocasionalmente gerar problemas psicológicos nos indivíduos ou conflitos sociais, quando tornam, por exemplo, uma parte da mão-de-obra se torna obsoleta. Merton (1970) sugere então que se faça sempre um estudo do impacto tecnológico que uma nova tecnologia pode causar antes de se implementá-la definitivamente.

Os pressupostos que Merton (1970) postula à ciência serão muito criticados posteriormente, principalmente o que se refere ao comunismo científico e o desinteresse. Os estudos sociais da ciência, em especial os estudos de laboratório, vão demonstrar que a prática científica não se difere muito dos outros setores sociais e o trabalho dos cientistas não é muito diferente do de outros profissionais. Porém, as contribuições de Merton não deixam de ser importantes, pois já naquela época demonstravam a relação que a ciência tinha com a sociedade e a história, como bem demonstra quando trata do puritanismo no séc. XVII.

Concluindo, apesar de Merton pressupor valores que não são necessariamente um consenso atualmente e de que a ciência está muito mais conectada à sociedade do que a sua concepção de autonomia pressupunha, muitas das idéias de Merton foram importantes para inspirar a crítica e os estudos posteriores, e outras são importantes até hoje. A idéia de que a ciência necessita de relativa autonomia para que o conhecimento científico não seja ameaçado é algo muito importante e será defendido por outros autores como Bourdieu e os neo-bourdiesianos (como veremos mais a frente). Os estudos dos impactos tecnológicos e a alienação gerada pela intensiva tecnologização da produção também são assuntos importantes que merecem maior atenção dos cientistas sociais.

4.3 – Thomas Kuhn e o conceito de Revolução Científica

Thomas Kuhn se formou em física na universidade de Harvard e trabalhava como pesquisador na mesma universidade quando foi gradualmente abandonando a física e se aprofundando em história da ciência, assumindo o cargo de professor de história da ciência no departamento de filosofia em Berkeley.

Nos anos 60, o autor revoluciona a visão clássica da ciência. Baseado em suas experiências como físico e em seus estudos da história da ciência, em 1962 publica “*A estrutura das revoluções científicas*”, onde traça o que considera os conceitos fundamentais da maneira como considera que a ciência funciona e lança as bases do “construtivismo”.

Thomas Kuhn (2005) discute que, até então, a noção mais comum de ciência era de que esta seria uma reunião de fatos, teorias e métodos e que seu progresso se daria por acúmulo de descobertas e inovações individuais. Entretanto, Kuhn argumenta que a partir do estudo da história da ciência, desde as ciências aristotélicas até os tempos atuais, nota-se que a concepção de natureza mudou diversas vezes no decorrer da história e nem por isso eram construídas de forma menos “científicas” que atualmente. Teorias que atualmente são obsoletas não poderiam ser consideradas a-científicas. Conclui, portanto, que é impossível continuar concebendo a ciência como um acúmulo de conhecimento.

A inovação de Kuhn (2005) consiste no abandono da ideia de que o progresso científico se dá por acumulação de descobertas, mas sim, através de “revoluções paradigmáticas”. O autor insere o conceito de *paradigma* na ciência, que entende ser um modelo ou conjunto de ideias pelo qual os cientistas de uma determinada área científica baseiam suas teorias e orientam seus estudos durante um período de tempo.

Considero “paradigmas” as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência (Kuhn, 2005, p. 13).

Kuhn (2005) explica que enquanto esse modelo der conta das questões levantadas pelos cientistas, ele permanece. O autor chama esse período, em que as questões são respondidas simplesmente aplicando-se as teorias existentes de “ciência normal”. Esta, segundo ele, pressupõe sempre saber como o mundo é e seria o modo de funcionamento que se dá na maior parte do tempo em ciência.

Kuhn (2005) ainda denuncia que a ciência normal, a partir de seus esquemas conceituais, sempre tenta forçar a natureza a se encaixar nesses esquemas, relevando algumas características e forçando outras se necessário. Segundo ele, a ciência normal seria extremamente resistente a dados ou novidades que contradigam o paradigma. Apesar disso, o autor enfatiza que a ciência normal é ainda assim fundamental, pois, a maior parte dos problemas levantados pela ciência não seriam resolvidos se não fosse o comprometimento com o paradigma.

Segundo o autor, somente quando a ciência normal não pode mais prosseguir é que começam as investigações extraordinárias que tentam dar conta dos fenômenos inexplicáveis que conduzirão determinado setor da ciência normal a novos compromissos. A partir desse momento em que as questões não conseguem mais ser respondidas ou mesmo levantadas sem contradizer o paradigma, começa o período que o autor chama de “revolução científica”. Flexibiliza-se, então, as restrições teóricas para poder abordar mais possibilidades e se inicia uma mudança, que se dará através de disputas entre os cientistas.

A partir do momento em que se encerram as disputas e um novo paradigma é adotado, muda-se a compreensão dos fenômenos até então parcialmente ou inteiramente inexplicados e, por conseqüência, também o todo o entendimento dos fenômenos já explicados até então. “O mundo do cientista é tanto qualitativamente transformado como quantitativamente enriquecido pelas novidades fundamentais de fatos ou teorias” (Kuhn, 2005, p. 26).

Portanto, o avanço científico para Kuhn se dá através de saltos, ou revoluções, e não através de acúmulo. Esse pensamento coloca em xeque as visões epistemológicas que viam a natureza como algo estático, onde a ciência somente descobria coisas novas. Se levar-se em conta que a interpretação da natureza e da realidade muda junto com a troca de paradigmas, não haveria mais uma verdade absoluta, apenas um consenso temporário a respeito do mundo. Apesar de Kuhn não explorar muito isso, o que se deduz é que o conhecimento científico, assim como o entendimento do mundo, estariam em constante construção, tema que os construtivistas vão explorar a partir daí.

4.4 – David Bloor e o Programa Forte em Sociologia da Ciência

Baseado nas teorias construtivistas então nascentes, David Bloor (1998), nos anos 70, vai pensar a ciência de uma perspectiva nova. Até então, a maior parte dos estudos científicos sobre a ciência tentava ver e estudar somente a influência social externa à ciência, ou seja, apenas, por exemplo, a política governamental para ciência de um país, nas escolhas dos projetos a serem financiados, etc. Nessa visão, que Bloor (1998) chama de “Programa fraco” o processo científico em si, de construção de fatos e conhecimento, se mantinha intacto, livre de influências pessoais, culturais e subjetivas. As influências sociais eram vista de maneira sempre negativa, geralmente causadoras do erro e do fracasso quando chegavam a influenciar o processo científico.

David Bloor (1998) propõe o que chama de “Programa Forte em sociologia da ciência”. O autor inova ao propor o estudo do *conteúdo científico*, e não simplesmente da ciência como uma instituição social. Nessa nova perspectiva, o sociólogo da ciência deveria buscar compreender também as influências sociais na construção do conhecimento científico.

Em seu livro *Knowledge and Social Imagery*, Bloor define o que são os quatro princípios do Programa Forte (Bloor, 1998, p.38):

- 1) **Causalidade:** devemos nos ater aos fatores não científicos que geram o conhecimento e dão forma à ciência.
- 2) **Imparcialidade:** Deve-se ser imparcial com respeito ao êxito e o fracasso.
- 3) **Simetria:** As mesmas causas devem explicar tanto as crenças falsas quanto as verdadeiras.
- 4) **Reflexividade:** Buscar explicações gerais e aplicar à própria sociologia.

A principal inovação teórica fica por conta da simetria. Para Bloor (1998), são as mesmas causas sociais (teorias, experiência, sugestões, intuições, etc) que levam o cientista a obter tanto o sucesso quanto o fracasso na ciência, não sendo senão resultados diferentes do mesmo processo. Isso revoluciona a visão que se tinha da ciência até então, baseada na epistemologia, onde jamais os erros teriam a mesma causa que o sucesso.

A filosofia da ciência compartilhava até então com a epistemologia a crença de que os experimentos eram evidentes em si mesmo e independentes do contexto. A partir de Thomas Kuhn, esse pressuposto ficou fragilizado devido ao conceito de paradigma, que já indicava o caráter consensual da verdade. David Bloor (1998) reafirma esse caráter e enfatiza que a experiência individual que produz o conhecimento se dá dentro de condições sociais específicas. O conhecimento, portanto, seria algo mais comparável à cultura que à experiência.

O autor defende a indiferenciação da ciência e das outras esferas sociais, já que a atividade científica é tão contingente e contextual quanto todas as outras. Bloor (1998) parte de uma visão wittgensteiniana segundo a qual os as “crenças” da ciência e os critérios de “verdade” são construções coletivas, produtos de uma intensa negociação social.

Até então, as análises se restringiam a pensar apenas a relação da ciência com a sociedade ou de entender seu funcionamento interno de maneira geral. Bloor (1998) é o

primeiro a se preocupar com a investigação do conteúdo científico. Para ele, deve-se investigar a construção dos fatos científicos em si para compreender como a ciência funciona.

Sua teoria inspira, a partir de então, para uma nova reflexão da construção do conhecimento e do conteúdo científico que influenciaria muitos autores, como Latour, Micheal Lynch, Karin Knorr-Cetina, Michel Callon, entre outros, que utilizam suas premissas para pensar o conteúdo científico por meio de estudos de laboratório.

4.5 - A Sociologia da Ciência de Pierre Bourdieu

Ainda há outra perspectiva na sociologia da ciência, diferente do construtivismo e bastante crítica em relação a estes estudos, a sociologia da ciência de Pierre Bourdieu. Em sua teoria, Bourdieu (2001; 2004) considera a ciência como um campo de forças ou de lutas, em que os sujeitos (no caso cientistas) lutam entre si pelo poder através de seu capital específico (o capital científico) em uma estrutura hierárquica que tende a se reproduzir.

Para Bourdieu (2004), o capital científico seria o instrumento de disputa dos cientistas, cujo qual acumulam por meio de publicações, invenções, posições, reconhecimento, etc. Ele ainda divide este capital em dois tipos específicos para maior precisão da análise: o puro e o institucional.

O capital científico “puro” (ou simplesmente “científico”) é, para o autor, baseado no reconhecimento que o cientista tem, através de suas invenções, descobertas, publicações, citações etc. Enfim, é um capital baseado no prestígio e no reconhecimento pelos pares.

Já o capital científico institucional (ou temporal) está ligado à ocupação de posições importantes dentro das instituições científicas. É um capital mais político, diretamente ligado à estrutura hierárquica do campo. Por isso mesmo, esse capital é para o autor muito mais fácil de ser transmitido que o capital científico “puro”.

Uma das principais diferenças entre esses dois tipos de capitais, segundo o autor, é sua forma de acumulação. Enquanto o capital científico “puro” se acumula mais através do reconhecimento pelos pares e pode ser medido, por exemplo, pelo número de citações, o capital científico institucional é mais político e pode ser mensurado pela posição institucional (ou cargo) que o agente possui dentro do campo.

Difíceis de acumular praticamente, as duas espécies de capital científico diferem também por suas formas de transmissão. O capital científico “puro”, que, fragilmente objetivado, tem qualquer coisa de impreciso e permanece relativamente indeterminado, tem sempre alguma coisa de carismático; desse aspecto, é extremamente difícil de transmitir na prática. (...) Ao contrário, o capital científico institucionalizado tem quase as mesmas regras de transmissão que qualquer outra espécie de capital burocrático, ainda que, em alguns casos, deva assumir a aparência de uma “eleição” (Bourdieu, 2004, p. 37).

É devido, portanto, a essa espécie de capitalismo do universo simbólico que, para o autor, a estrutura do campo tem um caráter preponderantemente conservador. Apesar de todo o discurso da imparcialidade do método científico, o cientista está, no fim das contas, sempre em busca do reconhecimento, e, para isso, necessita jogar com as regras do campo, reproduzindo-o em sua maior parte enquanto participa dele e tenta modificá-lo naquilo que lhe é interessante.

A maior preocupação de Bourdieu (2001) é em relação à autonomia do campo científico. Para ele, a valorização do capital institucional frente ao capital puro é um risco a atividade científica básica, já que pode levar a uma excessiva politização em detrimento do conhecimento científico na hora de escolher o que deve ser estudado. Outro risco que o autor levanta é a interferência das demandas do mercado e do Estado, entre outras coisas, na ciência. Estas são uma ameaça à autonomia do campo científico quanto à escolha de seus temas de pesquisa, principalmente depois da implementação por parte de muitas instituições de financiamento científico de métodos como a gestão tecnológica, que muitas vezes resulta no estímulo às pesquisas voltadas ao mercado em detrimento da pesquisa básica, além de tornar o campo científico dependente do mercado.

Apesar da teoria de Bourdieu ser de extrema importância em questões que se referem à avaliação pelos pares, disputa científica, intervenções externas à ciência, etc, o autor não se debruça propriamente sobre o conteúdo científico e tecnológico, sua construção e as relações necessárias com entidades externas à academia. Por esse motivo, não foi escolhido neste trabalho como referencial teórico para a análise do estudo de caso, apesar de que isso reflète mais uma escolha pessoal do que uma impossibilidade.

4.6 - Os Estudos de Laboratório e a Teoria Ator-Rede (ANT)

No início da década de 70, Bruno Latour (1997) inicia um novo tipo de pesquisa (ao mesmo tempo em que Lynch e Knorr-Cetina também faziam estudos semelhantes, sem saberem ainda dos estudos um dos outros), a etnografia de laboratório.

Lamentando-se da pouca atenção dada às nossas práticas científicas pelos pesquisadores das ciências humanas, o autor pretende fazer um estudo da ciência e da construção dos fatos ao molde etnográfico/etnológico usado há muito tempo pelos antropólogos para estudar as sociedades “primitivas”, mas pouco usado para estudar a própria sociedade ocidental, principalmente seu cerne ontológico central: a ciência. Esta sempre era vista como no alto de um altar, protegida de toda crítica sobre suas práticas pela epistemologia – que vê a ciência como uma forma de conhecimento imune às disputas e práticas micro e macro sociais presentes em todas as outras esferas da sociedade.

Ao ler a literatura dos antropólogos e ao falar com eles, percebi seu cientificismo. Eles estudavam outras culturas e outras práticas com um respeito meticuloso, mas com *um fundo* de ciência. Perguntei-me então o que dizer do discurso científico se ele fosse estudado com o cuidado que os etnógrafos têm quando estudam as culturas, as sociedades e os discursos pré, para ou extracientíficos. A “dimensão cognitiva” não estaria, aí também, amplamente exagerada? (Latour e Woolgar, 1997, p. 12-13. grifo no original)

O Programa Forte inovava ao colocar em relação de simetria tanto o erro quanto o sucesso. Os mesmos tipos de causa deveriam explicar tanto o sucesso quanto o fracasso. Para Latour (1997), isso deveria ser levado a sério na investigação da produção científica, trazendo a sociedade da margem para o centro da produção científica. O autor também inova por trazer uma nova relação de simetria: natureza/sociedade. Para Latour, uma não prevalece sobre a outra e ambas devem ser tratadas nos mesmos termos.

Cumprir não somente tratar nos mesmos termos os vencedores e os vencidos da história das ciências, mas também tratar igualmente e nos mesmos termos a natureza e a sociedade. Não podemos achar que a primeira é dura como ferro, de modo a explicar à segunda; não podemos acreditar bravamente nas classes sociais para melhor duvidar da física (...) O trabalho de campo que aqui apresentamos é, por conseguinte, duas vezes simétrico: aplica-se ao verdadeiro e ao

falso, esforça-se por reelaborar a construção da natureza e da sociedade (Latour e Woolgar, 1997, p.24).

Os autores aconselham permanecer longe do discurso científico, por este esconder a prática e a construção dos fatos. Nesse discurso, os fatos científicos são tratados como “descobertas” e escondem sua origem e história (a maior parte das vezes controvertidas e cheias de disputas) por trás de “provas” e “argumentos irrefutáveis” após o fato ter se consolidado (ou estabilizado). Segundo eles, a ignorância, nesse caso, seria uma arma a favor do observador na narração e crítica da prática científica.

Latour (1997) enfatiza o caráter anti-epistemológico da meta-linguagem a ser utilizada em seu trabalho, voltando sua atenção à prática: as maneiras, a linguagem, os instrumentos, as estratégias, etc, utilizados pelos cientistas para promover suas teorias e refutar a de seus concorrentes. Enfim, vê os fatos científicos como uma construção, que caminha lentamente a uma estabilização por meio da eliminação de teses e cientistas concorrentes, e da aceitação por parte da comunidade científica, até se tornar um “fato inquestionável”.

Latour e Woolgar (1997) ainda atribuem à sua própria prática o mesmo valor que atribui à prática dos cientistas estudados. Para eles, não há diferença: ambos são ciência e tão questionáveis quanto. Eles enfatizam a necessidade formulada por Bloor (1998) de sempre se aplicar essa reflexividade nas ciências humanas, para não se correr o risco de se contradizer ao demonstrar uma prática ou modelo, nem de ser arrogante atribuindo a si uma natureza ou confiabilidade diferente da do objeto estudado, ainda mais quando o objeto a ser estudado é própria ciência pela ciência.

Em outro livro, Latour (1994) trata da visão de natureza da ciência moderna. Segundo ele, os povos modernos vêem a natureza e a sociedade como duas esferas distintas e perfeitamente separadas. Cada uma dessas esferas, portanto, tem as suas ciências e os seus cientistas, e não precisariam se preocupar uma com a outra. Porém, segundo o autor, isso não passa de uma ilusão que criamos para nós mesmo para justificar nossos pensamentos e práticas.

Para Latour (1994), natureza e sociedade são coisas que estão completamente misturadas e só são possíveis de se separar por meio de abstração. O que temos na prática quando levamos em consideração uma instituição como a linguagem ou um ser vivo são

objetos *híbridos* (ou o que chama às vezes de *quase-objetos*), ou seja, coisas que seriam, nos termos “modernos”, naturais e sociais (ou culturais) ao mesmo tempo.

Reais como a natureza, narrados como o discurso, coletivos como a sociedade, existências como o Ser, tais são os quase-objetos que os modernos fizeram proliferar, e é assim que nos convém segui-los, tornando-nos simplesmente aquilo que jamais deixamos de ser, ou seja, não-modernos (LATOUR, 1994, p. 89).

Isso fica mais claro à medida que refletimos sobre os fatos científicos como constructos sociais. Por mais que uma coisa como um átomo possua uma parte independente da cultura, que se comporta independente da nossa vontade é somente por meio da nossa percepção (que inclui a cultura, as teorias científicas de uma época, os equipamentos de mensuração, etc) que podemos ver, compreender e significar quaisquer coisas da natureza. Tudo carrega um arcabouço simbólico, que varia ao longo do tempo e entre diferentes culturas, ao mesmo tempo em que é natural.

Segundo o autor, existem dois processos que contribuem para a construção dos fatos científicos e tecnologias. O primeiro, que chama de “mediação” (ou translação), se refere à construção de um fato científico ou tecnologia. Para Latour (1994; 2000), a ciência se faz através de redes, que conectam pessoas, instituições, e elementos não-humanos. Para um fato ser aceito ou uma máquina funcionar, eles precisam estar amarrados a vários elementos (ou atores) humanos e não-humanos. Quanto mais complexo um fato ou máquina for, mais complexa geralmente necessita ser essa rede, já que precisam de muito apoio, financiamento, laboratórios, pesquisadores, etc.

Após um fato científico ou uma tecnologia ser construída e estabilizada, entra em cena um segundo processo, o que chama de “purificação”, onde os cientistas sem admitir a si próprios, mas eficientemente, eliminam a trajetória (muitas vezes controvertida) da construção desses fatos, o que nos dá a impressão de que os povos modernos “descobrem” as coisas, sem a influência da sociedade.

A partir do momento em que levamos em conta tanto as práticas de mediação quanto as praticas de purificação, percebemos que nem bem os modernos separam os humanos dos não-

humanos nem bem os “outros” superpõem totalmente os signos e as coisas (LATOUR, 1994, p.102).

Voltando sua atenção à prática científica e tecnológica, Latour (2000) cria o conceito de *caixa-preta* para ajudar a compreender a construção dos fatos científicos e máquinas sem precisar entender a fundo o conteúdo da ciência.

A expressão *caixa-preta* é usada em cibernética sempre que uma máquina ou um conjunto de comandos se revela complexo demais. Em seu lugar, é desenhada uma caixinha preta, a respeito da qual não é preciso saber nada, senão o que nela entra e o que dela sai (Latour, 2000, p. 14).

No caso do estudo da ciência ou engenharia, uma caixa-preta é uma discussão já encerrada ou máquina já construída. Quanto mais difundido e aceito for um fato científico ou uma máquina, mais fechada essa caixa está. E quanto mais aceito pela comunidade científica, ou menos questionável for, mais preta ela será. Segundo o autor, o cientista da ciência precisaria para entender o funcionamento da ciência, então, simplesmente acompanhar o fechamento das caixas-pretas, enquanto elas ainda estão abertas.

Tome uma caixa-preta qualquer e congele a cena: você pode então considerar o sistema de alianças que ele une de duas formas diferentes. Em primeiro lugar, observando quem ela tem por finalidade alistar. Em segundo, considerando a que ela está ligada, a fim de tornar o alistamento inelutável. Por um lado, podemos traçar seu sóciograma; por outro, o seu tecnograma (Latour, 2000, p. 229).

Não é necessário, portanto, ser um físico, por exemplo, para estudar a evolução da teoria da relatividade ou um engenheiro para estudar o funcionamento de um motor. Quase tudo que precisamos é acompanhar as controvérsias e as alianças, que sempre existem, durante o fechamento de uma caixa-preta. Isso nos possibilitará também mapear a rede que sustenta essa caixa-preta, já que para cada elemento no seu tecnograma há um correspondente no sóciograma. Nesse ponto, as redes ficam mais visíveis do que nunca, pois os cientistas

estarão constantemente fazendo alianças com outros cientistas, instituições de pesquisa, de financiamento, com o governo, etc, para tentar fazer com que os elementos não-humanos necessários para o funcionamento sejam dominados e funcionem da maneira como desejam.

Latour (2000) chama de *translação* o processo de alistar outras pessoas para que elas participem de construção de um fato científico ou máquina. Translação aqui tem um duplo sentido, que é adequado no caso. Em primeiro lugar, significa um movimento, ou seja, o de trazer as pessoas para si. Em segundo lugar, significa tradução, ou seja, reinterpretar os seus próprios interesses e o das pessoas para que essas se juntem em torno de um objetivo em comum.

Segundo o autor, há várias maneiras de se transladar. O construtor de fatos ou máquinas pode simplesmente trazer pra si alguém que tem objetivos em comum ou semelhantes. Pode também tentar convencer outras pessoas de que os seus interesses, mesmo que diferentes, tem coisas em comum e dependem mutuamente. Por exemplo, um engenheiro pode tentar convencer uma empresa de que seus interesses para economizar energia estão intimamente ligados ao desenvolvimento de um catalisador muito específico, já que este é necessário para se construir motores mais eficientes. Ou um médico pode convencer o governo local que para se aumentar a expectativa de vida, é necessário investir em pesquisas sobre a reprodução do DNA, já que isto está intimamente ligado ao processo de envelhecimento. Objetivos que são aparentemente diferentes podem se tornar comuns através da translação.

Para Michel Callon (1986), a tradução é um *mecanismo de convergência* entre os diversos elementos heterogêneos (humanos, não-humanos, econômicos, políticos, etc) em uma rede sócio-técnica. O autor considera esses elementos como *atores*, os quais são interligados entre si por meio de elementos intermediários (textos, artefatos técnicos, pessoas, dinheiro, etc). Callon (1986) considera que os processos de tradução são divididos em quatro momentos:

- 1) **Processo de problematização**: os atores buscam se tornar indispensáveis aos outros através da definição de problemas e sugerem que são superados por meio de pontos obrigatórios de passagem.
- 2) **Processo de atração**: configura-se em uma série de processos através dos quais os atores buscam aprisionar outros atores em seus respectivos papéis propostos.

3) **Processo de envolvimento**: uma gama de estratégias a partir das quais os atores buscam definir e inter-relacionar os vários papéis que foram designados aos outros. Esse processo evita eventuais desacordos e possibilita a construção de um sistema de alianças estabilizado.

4) **Processo de mobilização**: uma gama de métodos usados pelos atores para garantir que o porta-vozes por eles nomeado seja capaz de representar a coletividade sem riscos de traição em período subsequente.

É possível, portanto, não só considerar os movimentos que os atores realizam para aliciar e controlar aliados para sustentar uma rede ao redor de um projeto, mas também dividir esse processo em fases.

Para se acompanhar e compreender, a construção de um fato científico ou de uma tecnologia, basta então, segundo a teoria Ator-Rede, acompanhar o fechamento de uma caixa-preta, com o cuidado de observar os movimentos de translação envolvidos entre os atores, o que levará a um mapeamento do seu tecnograma e de seu sóciograma, ou da rede que sustenta essa caixa-preta, muito mais social e controverso do que aparenta ser no final do processo, quando tudo é considerado como dado e esquece-se o processo envolvido na construção dos fatos e tecnologias.

4.7 - Fechando uma Caixa-Preta

Em seus estudos, Bruno Latour trata, entre outras coisas, sobre a construção dos fatos científicos e o funcionamento da ciência na sociedade moderna. Para o autor, os fatos científicos são construídos coletivamente, por meio de uma longa negociação, aonde as hipóteses ou artefatos vão se tornando gradualmente um fato à medida que vão sendo aceitos e utilizados pela maior parte dos cientistas atuantes em determinada área (Latour, 1997).

Como o autor demonstra, para um fato científico ou máquina ser bem sucedido e conseguir se fechar uma caixa-preta, a rede social envolvida deve ser tão complexa quanto a técnica. “A propagação das caixas-pretas no tempo e no espaço é paga por um fantástico aumento no número de elementos que devem ser interligados” (Latour, 2000, p. 177). Para cada elemento técnico no tecnograma, há outro elemento associado no sóciograma.

Consequentemente, se um construtor de fatos ou máquinas não conseguir aliados e o apoio necessário, seu objetivo tenderá ao fracasso. Latour dá um exemplo que nos é interessante para entender esse processo e justificar a escolha dessa corrente teórica neste trabalho, por ilustrar a necessidade de uma rede forte se construir uma tecnologia nova. O autor cita o exemplo de um pesquisador brasileiro que buscava construir um chip de computador nacional. No caso, João não consegue apoio da indústria para financiar e produzir seu chip, pois não tinha consumidores, já que os chips importados eram muito mais baratos. Também não consegue apoio do governo para taxar importações, pois não podia produzir os chips necessários à demanda naquele momento.

Sem o apoio da indústria, João também não consegue desenvolver o chip por conta própria, pois os instrumentos que possuía eram muito inferiores aos dos concorrentes no exterior. Também não consegue financiamento ao seu laboratório, pois os financiadores alegam que não há um número suficientemente grande de pesquisadores nessa área. Além de tudo não podia se dedicar exclusivamente ao seu projeto, pois dependia de outros empregos pra sobreviver.

Esse é um exemplo de um caso que demonstra como a ciência depende da sociedade ao seu redor e de como ela pode falhar na construção de um fato ou tecnologia. Há uma relação direta entre as dimensões do recrutamento externo de recursos e a quantidade de trabalho que pode ser executada internamente. Não houve, no caso, um sóciograma para que fosse possível se criar um tecnograma.

A tecnociência tem um lado de dentro porque tem um lado de fora. (...) Quanto maior, mais sólida e mais pura a ciência é lá dentro, maior a distância que outros cientistas precisam percorrer lá fora. É por causa dessa retroalimentação que quem entra num laboratório não vê relações públicas, políticos, problemas éticos, luta de classes, advogados; vê ciência isolada da sociedade. Mas esse isolamento existe só porque outros cientistas estão sempre ocupados a recrutar investidores, a interessar e convencer outras pessoas (Latour, 2000, p. 258).

Outro caso interessante e que tem a ver com o nosso foi explorado por Michel Callon (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 esse lado em pró 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.

On the one hand, the motor vehicle was considered responsible for the air pollution and noise that plagues our cities; On the other hand, it was irretrievably linked to a consumer society in which the private car constituted a primordial element of status. However, electric propulsion would render the car commonplace by decreasing its performance and reducing it to a simple useful object. The electric car could lead to a new era in public transport in the hands of new social groups that were struggling to improve conditions in the city by means of science and technology (CALLON, 1987, p. 85).

Logo de início já vemos a presença de, além das usuais tecnologias (células a combustível, eletrodos, elétrons, catalisadores, etc), também de consumidores, movimentos sociais, ministérios, etc – elementos tão familiares dos sociólogos. O resultado dessa inovação seria desastroso se não houvesse apoio governamental, novas regulamentações, ou o público rejeitasse a nova tecnologia.

Porém, 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).

Para Callon (1987), uma rede de atores contém dois aspectos: o de simplificação e o de justaposição. As possibilidades dos atores em uma rede vão muito além do que os cientistas e engenheiros podem definir. Na prática, só aparecem aquelas características que são relevantes para a rede de atores (simplificação). Outros elementos só são revelados quando surge uma controvérsia. Ao mesmo tempo, as entidades simplificadas só existem em contexto, ou seja, em justaposição com outros elementos. Se você remover ou inserir um elemento, toda a estrutura pode mudar (ou desabar). “The simplifications are only possible if elements are juxtaposed in a network of relations, but the juxtaposition of elements conversely requires that they be simplified” (CALLON, 1987, p. 95).

Portanto, não é possível uma nova tecnologia ou inovação se consolidar no mercado (ou se fechar uma caixa-preta) enquanto os elementos heterogêneos - técnicos e sociais, ou humanos e não-humanos - de uma rede de atores não estiverem funcionando adequadamente, alinhados e em harmonia. Os elétrons devem fluir, assim como as verbas para a pesquisa; o catalisador deve funcionar tão bem quanto os regulamentos; um motor deve ser tão eficiente quanto acessível e atraente ao público consumidor. Não há mais espaço para análises puramente econômicas da inovação, que ignoram os elementos técnicos, nem puramente técnicas, que colocam os elementos sociais somente ao fim da análise ou como plano de fundo.

O estudo de caso tema desta dissertação tem como principal embasamento teórico a teoria Ator-Rede de Bruno Latour (2000) e Michel Callon (1986), pois, abordam os fatos científicos e os artefatos tecnológicos como produtos de uma imensa rede de atores, ou elemento heterogêneos, que inclui humanos (cientistas, empresários, patrocinadores, consumidores), não-humanos (elementos físicos, químicos, máquinas, mecanismos, dispositivos, etc), mercado, governo, etc. Nessa visão, os produtos da ciência são resultados de uma construção coletiva, cuja abrangência vai muito além dos laboratórios, levando em conta diversos fatores sociais que são considerados essenciais nessa pesquisa para descrever o sucesso ou fracasso de um tecnologia como a das CaC, como políticas governamentais, alianças com a universidade e o setor privado, disputa de recursos, etc.

Capítulo 5: O CENEH e a pesquisas e desenvolvimento de tecnologias do hidrogênio no Brasil.

A partir desta introdução, podemos pensar no caso das pesquisas com células a combustível no Brasil. Este capítulo foi escrito baseado em nossa pesquisa bibliográfica e através de entrevistas semi-estruturadas que fizemos com os secretários e funcionários do CENEH (Centro Nacional em Referência do Hidrogênio). O Centro foi escolhido por se tratar de um centro público para consulta neste assunto. Ele é oficialmente o responsável por reunir e divulgar informações relativas a pesquisas e desenvolvimento de tecnologias ligadas ao uso energético do hidrogênio, além de ser um articulador de pesquisas nesse setor.

O CENEH foi criado após a 1ª Conferência Brasileira sobre o Hidrogênio, realizada no IV Encontro do Fórum Permanente de Energias Renováveis em Pernambuco, onde se reuniram os cinco centros nacionais de referência em energias renováveis já existentes⁶. O objetivo principal do CENEH em sua proposta era reunir e divulgar informações a respeito de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao uso energético do hidrogênio.

O CENEH, então, se tornou um grande centro de informações, discussões e articulações de P&D no setor de hidrogênio. Vários consórcios e pesquisas foram realizados ao longo dos anos através do CENEH. O centro propriamente não realiza pesquisas, mas articula alianças com empresas e instituições que realizam. O principal aliado do CENEH na realização de pesquisas é o LH2 (Laboratório do Hidrogênio) instituição de pesquisa independente da UNICAMP e localizado no mesmo prédio. Daremos mais detalhes da criação e operação do CENEH e do LH2 logo a seguir neste capítulo.

Como veremos, o caso brasileiro tem algumas semelhanças com o caso de João, descrito por Latour (2000). Assim como no caso dele, a rede das células a combustível também é frágil e não se conseguiu, por enquanto, uma articulação sólida entre a pesquisa, o mercado e o governo.

⁶ - Os centros já existentes eram: Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), localizado na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Centro Brasileiro para o Desenvolvimento de Energia Solar Térmica (GREEN SOLAR), instalado na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC-MG, Centro Nacional de Referência de Pequenas Centrais Hidroenergéticas (CERPCH), localizado na Escola Federal de Engenharia de Itajubá (MG) - EFEI, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e o Centro de Referência em Biomassa (CENBIO), instalado na Universidade de São Paulo - USP

5.1 – Antecedentes do CENEH

A História do CENEH para ser bem compreendida deve começar algumas décadas antes de sua criação, com o surgimento do LH2 (Laboratório do Hidrogênio) na UNICAMP.

Na década de 70, com a crise do petróleo, o governo militar lançou vários programas e investiram na pesquisa e desenvolvimento de combustíveis que pudessem substituir os derivados do petróleo. Em 1975, foi criado o LH2.

Ele foi instalado na Unicamp como um laboratório independente, com recursos e administração próprios. Na época, pesquisava-se a produção de hidrogênio e o seu uso de maneira eficiente em motores a combustão. O laboratório era ligado ao instituto de física, e seu responsável era o físico Ennio Peres da Silva (hoje também responsável pelo CENEH). A maior parte dos seus recursos vinha de programas governamentais da época para substituição do petróleo. Vários laboratórios, como o LH2, foram criados pelo Brasil nessa época, para a pesquisa de diversos combustíveis alternativos.

Porém, assim que a crise acabou e o preço do petróleo diminuiu, quase todos os projetos foram descontinuados, seus recursos cortados e maior parte dos laboratórios simplesmente fechou. Todavia, o LH2 continuou. Sem recursos, teve que demitir praticamente todos os seus funcionários e técnicos. Porém, através da infra-estrutura que haviam conseguido construir durante o período anterior, continuou subsistindo por meio da venda de hidrogênio para a indústria química.

O LH2 continuou subsistindo dessa forma durante muito tempo. Somente no fim da década de 90 as coisas começaram a mudar. Após toda a discussão envolvendo problemas ambientais, incluindo o aquecimento global, discutido na ECO-92 no Rio de Janeiro, várias medidas começaram a ser tomadas pelo mundo afora. A emissão de CO₂, agora relacionada com o provável aquecimento global - que posteriormente foi medido pelo IPCC (instituto intergovernamental criado na ocasião da mesma reunião) - passou a ser uma preocupação séria da sociedade civil na maior parte do mundo e de seus governos. Esses problemas também foram levados em conta no Brasil.

No fim da década de 90 a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) propôs o financiamento de pesquisas e desenvolvimento de diversos combustíveis alternativos os combustíveis fósseis, incluindo o hidrogênio. Criou-se um grupo do hidrogênio e o LH2 voltou a receber recursos e novos técnicos puderam ser contratados. As pesquisas, que

estavam paradas, puderam ser retomadas, porém, agora com uma nova filosofia: **o meio ambiente**.

5.2 – A criação do CENEH

Em 1998 foi realizado o IV Encontro do Fórum Permanente de Energias Renováveis em Pernambuco, onde se reuniram os cinco centros nacionais de referência em energias renováveis já existentes. Nele se realizou a 1ª Conferência Brasileira sobre o Hidrogênio, onde foi realizado um workshop sobre o tema. Ao final do fórum foi proposto a criação de um centro nacional de referência em hidrogênio, o que foi aprovado na plenária final do encontro (MCT, PROCaC, 2002).

Em seu convênio de criação (CENEH, 1999) são citados os seguintes órgãos:

- a) **Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)** – responsável, entre outras coisas, por apoiar por meio de seus programas e fundos de auxílio à pesquisa e desenvolvimento, a implementação e manutenção de programas e projetos relacionados ao desenvolvimento tecnológico na utilização energética do hidrogênio.
- b) **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)** - subsidiar o Centro com a legislação, normas e regulamentos pertinentes ao uso de fontes renováveis de energia e de utilização da energia elétrica.
- c) **Agência Nacional do Petróleo (ANP)** – com os mesmos objetivos da ANEEL, só que em seu setor.
- d) **Secretaria do Meio Ambiente (SMA/SP)** - Articular parcerias com entidades públicas e privadas para a obtenção de recursos técnicos e financeiros, visando o desenvolvimento dos planos de trabalho
- e) **Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (SVMA)** – mesmos objetivos do SMA/SP
- f) **Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)** – fornecer a infra-estrutura para a instalação do CENEH e ajudar a compor e a qualificação da equipe técnica do CENEH, além de disponibilizar seu acervo de informações.
- g) **Universidade de São Paulo (USP)** – ajudar a compor a equipe técnica do CENEH e disponibilizar seu acervo

- h) **Universidade do Rio de Janeiro (UFRJ)** – mesmos objetivos da USP
- i) **Centrais Energéticas de Minas Gerais (CEMIG)** - apoiar a iniciativa de potenciais interessados no desenvolvimento de estudos, projetos, implantação e operação de sistemas energéticos envolvendo a tecnologia do hidrogênio
- j) **Fundação de Desenvolvimento da UNICAMP** - Gerenciar, sob a supervisão da Secretaria Executiva, os recursos financeiros previstos nos Planos de Trabalho, de acordo com as decisões emanadas do Comitê Diretor

É importante salientar que todos os parceiros do CENEH (com exceção da Fundação de Desenvolvimento) possuem, além de seus objetivos principais, também a obrigação de: apoiar a implementação do CENEH; articular parcerias com entidades públicas e privadas para a obtenção de recursos técnicos e financeiros; e apoiar estudos, programas e projetos relativos ao desenvolvimento tecnológico na utilização energética do hidrogênio.

Em 2001, foi realizada a primeira reunião do comitê diretor do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH) dando início oficial a suas atividades. Criado ao lado do já existente Laboratório do Hidrogênio (LH2) na UNICAMP, o CENEH reuni informações sobre pesquisas e projetos relacionadas ao hidrogênio e às células a combustível em todo o Brasil para informação de qualquer interessado, instituição, empresas ou pesquisadores, assim como desenvolver alianças e promover capacitação neste assunto. Os objetivos do CENEH são:

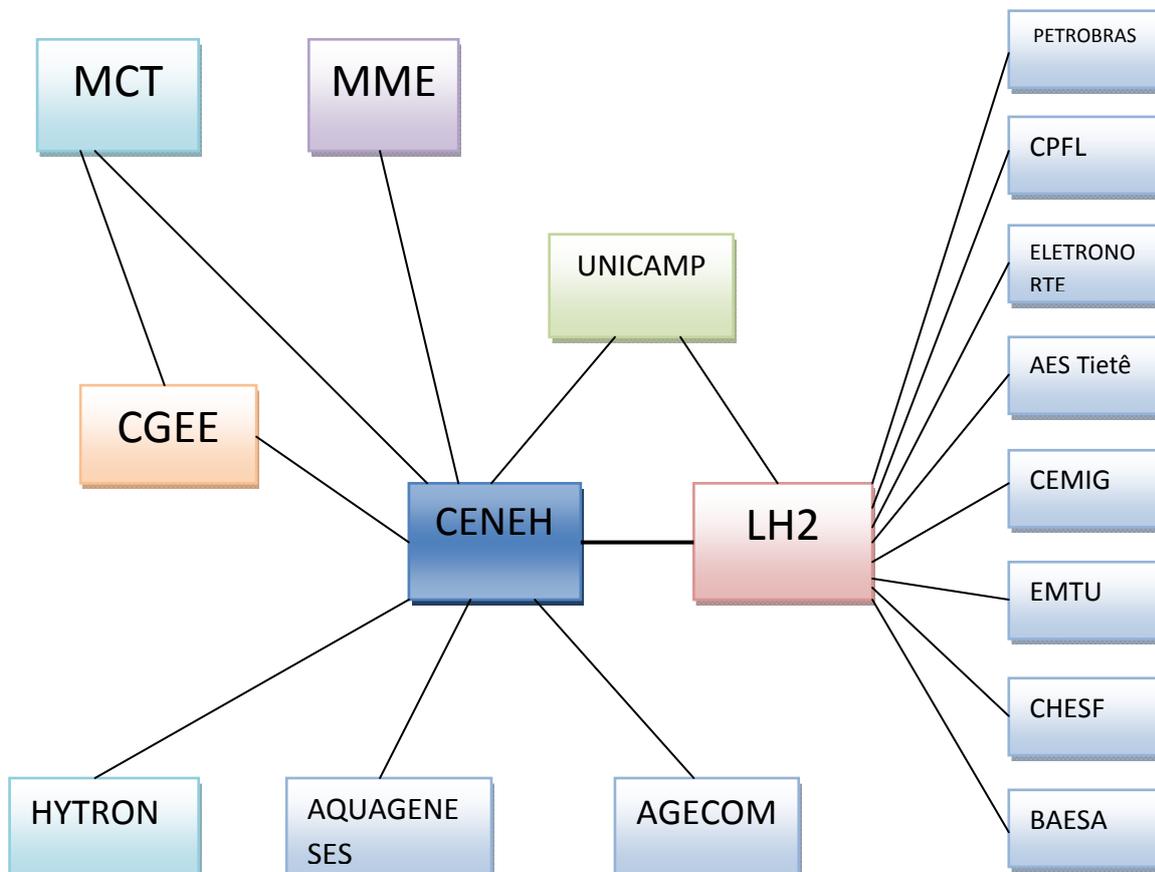
Promover, através de rede de informação, a divulgação e difusão de referências sobre programas, projetos, pesquisas, desenvolvimentos científicos e tecnológicos do aproveitamento energético do hidrogênio, propor e realizar pesquisas científicas e tecnológicas, próprias ou em cooperação com outras entidades interessadas, desenvolvendo alianças estratégicas nesta área de atividade e, também, promover a capacitação e treinamento neste tema (CENEH - <http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/objetivos.htm> acesso em: 19/07/2011).

O principal objetivo do CENEH é reunir para informar a quem quer que esteja interessado, informações a respeito de projetos e pesquisas em hidrogênio energético, como a produção de hidrogênio purificado e tecnologias correlacionadas, como sistemas de células a combustível. Por esse motivo foi escolhido como objeto de estudo desta pesquisa sobre as células a combustível no Brasil.

Assim, enquanto o CENEH tem concentrado seus esforços nas ações políticas, o Laboratório de Hidrogenio (LH2), também localizado na UNICAMP, tem promovido o desenvolvimento tecnológico das seguintes linhas de pesquisa: geração eletrolítica do hidrogênio; aplicações automotivas do hidrogênio; economia do hidrogênio; análise de traços e padronização gasosa; reforma do etanol; e planejamento energético (ROHRICH, 2008, p.101).

5.3 – As alianças do CENEH

O CENEH pode ser visto como um grande articulador de pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos no uso energético do hidrogênio. Ele não desenvolve diretamente nenhuma pesquisa, mas possui várias alianças com instituições, entidades e empresas que desenvolvem. Abaixo fiz uma representação com algumas das instituições e empresas aliados ao CENEH:



O principal aliado do CENEH é o LH2. Através de consórcios firmados muitas vezes através do CENEH, o LH2 desenvolve pesquisas relacionadas ao uso do hidrogênio com diversas empresas do setor energético como: Petrobrás, CPFL, Eletronorte, AES Tietê, CEMIG, EMTU, CHESF, BAESA.

O CENEH também presta serviços de consultoria a instituições ligadas à ministérios, como o CGEE.

O Aquageneses cuida da parte de análises de impactos ambientais dos projetos desenvolvidos junto ao CENEH, enquanto a Agecom presta serviços de consultoria.

A Hytron é um spin-off do CENEH que desenvolve equipamentos como sistemas de células a combustível de projetos desenvolvidos junto ao CENEH.

Já a UNICAMP contribui com os alunos de pós-graduação que desenvolvem suas teses e dissertações em pesquisas ligadas a essa área.

Os projetos desenvolvidos junto ao CENEH tratam de pesquisas ligadas ao uso energético do hidrogênio como: produção de hidrogênio, através de diversas fontes (hidrelétricas, etanol, biomassa, sistemas fotovoltaicos, sistemas eólicos); desenvolvimento de sistemas de células a combustível; sistemas automotivos; baterias; redes energéticas; eficiência energética, etc.

A maior parte das pesquisas, contratadas pelas empresas do setor energético, como CPFL, Eletronorte, etc, são estimuladas pela lei de P&D da ANEEL (resolução nº242 da ANEEL, de 1998 e Lei nº 9.991, de 24/07/2000) que obriga as empresas do setor elétrico a aplicarem pelo menos 1% de seus lucros em P&D para a eficiência e conservação energética.

Porém, essas empresas costumam contratar essas pesquisas apenas para cumprir a lei e não serem multadas pela ANEEL e, geralmente, não desenvolvem nem aplicam essas tecnologias após o fim da pesquisa.

5.4 – As políticas e programas de pesquisa

Segundo o secretário do CENEH, a FINEP foi a primeira a se interessar em financiar o desenvolvimento do uso energético do hidrogênio e CaC. Em 1999 a FINEP, sob o comando de Laércio de Sequeira, se dispôs a investir 60 milhões de reais através de seu Fundo Setorial de Energia (CT-ENERG) para desenvolver pesquisas em CaC e hidrogênio.

Esse montante estava planejado para ser usado ao longo de 5 anos por um grupo que envolvia diversos cientistas e departamentos que já estudavam o hidrogênio e as CaC há muito tempo (o LH2, o Instituto de Física da UNICAMP, o Instituto de Física da USP São Carlos, entre outros) e possuía metas muito precisas, de forma que cada grupo desenvolveria a sua parte, da produção do hidrogênio até a construção de uma CaC própria e a sua implementação automotiva, de maneira encadeada.

Então, chamaram lá todo mundo na FINEP, fizemos uma proposta que era um plano de 5 anos, em média 12 milhões por ano, onde cada grupo ia fazer umas coisas que eram metas. Cada grupo tinha metas e essas metas estavam acopladas a meta dos outros. Tinha grupos de catalise, tinha grupos de sistemas. Então o pessoal durante o período de um ano ia fazer o catalisador, aquele outro grupo ia fazer o sistema, ia juntar uns pedaços, ia ter o hidrogênio no final de 2 anos, que era quando o protótipo da célula ia estar pronto, a gente amarrou tudo e depois de 5 anos nós teríamos uma célula de 5 kW funcionando do início até o fim, desde a geração do hidrogênio por eletrólise ou etanol, até a geração elétrica, inclusive aplicação automotiva (secretário do CENEH).

Porém, esse plano causou algumas tensões entre os órgãos envolvidos e acabou não se consolidando devido a algumas tensões. Segundo o secretário do CENEH, assim que a FINEP (que é um órgão do MCT) levou esse plano ao conhecimento do ministério, o MCT reparou que muitas entidades poderosas, como a Petrobrás, a Eletrobrás etc, que nunca haviam pesquisado nada sobre hidrogênio, tinham ficado de fora do projeto. Desfizeram então todo o plano da FINEP e criaram o posteriormente o PROCaC.

Em 2002, ainda durante o governo FHC, o Ministério de Ciência e Tecnologia, comandado por Ronaldo Mota Sardenberg, encomendou ao CGEE uma prospecção para identificar as competências para o desenvolvimento de sistemas de células a combustível no Brasil. Conclui-se que não havia uma instituição que pudesse desenvolvê-los sozinha e que

seria necessário estruturar um programa para isso. “Para tanto, definiu-se como necessário promover a coordenação das ações e projetos de cada instituição, estruturar um plano para recompor e compartilhar a infraestrutura de P&D já instalada” (MCT, PROCaC, 2002, p.2).

Foi lançado, então, ainda em 2002 o **PROCaC** (Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível), um programa do MCT voltado para a pesquisa em células a combustível, com o objetivo de organizar uma rede de pesquisas e promover ações integradas e cooperadas, que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de sistemas célula a combustível.

O Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, no uso de suas atribuições legais, resolve:

Art. 1º Instituir o Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível - PROCaC, com o objetivo de promover ações integradas e cooperadas, que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de sistemas célula a combustível.

(...)

Art. 3º Para viabilizar o Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível, o MCT coordenará uma rede de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, cujos representantes dos partícipes interessados serão designados (MCT, Portaria nº 731, de 14.11.2002⁷).

Em 2003, os países membros da IEA (*Interntional Energy Agency*) se juntaram para discutir a formação de um grupo internacional para desenvolver programas de P&D e políticas estratégicas em tecnologias do hidrogênio. Ao final do encontro, foi criado o IPHE (*International Partnership for Hydrogen Economy*).

O IPHE consiste numa parceria internacional, formada por dezessete países, incluindo o Brasil, para estimular políticas e pesquisas públicas e privadas para o desenvolvimento de tecnologias ligadas ao uso energético do hidrogênio e a economia do hidrogênio, assim como seus regulamentos. Na época, quem chefiava a delegação brasileira e assinou a parte do acordo foi a então ministra do MME (Ministério de Minas e Energia), Dilma Roussef. Em 2009 o IPHE mudou sua denominação para “*The International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*” para incluir também as células a combustível.

⁷ - disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/14588.html>>, acesso em: 03/06/2011.

Depois da criação do PROCaC no final de 2002, não foi feito quase nada até 2005. Somente em 2005 foi liberado o primeiro montante de recursos significativos, de 2 milhões de reais, através da FINEP (MATOS, 2009).

Ainda em 2005, o MCT, sob o comando de Eduardo Campos, alterou o nome do programa para abranger também o hidrogênio e passou a se chamar Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2). Os principais objetivos do ProH2 (CGEE, 2010) são:

- a) criação, operação e troca de informações das redes cooperativas;
- b) melhoria da infraestrutura de pesquisa para o hidrogênio e CaC;
- c) fomento à formação de recursos humanos;
- d) implantação de projetos de demonstração;
- e) estabelecimento de normas e padrões.

Os resultados esperados pelo PROCAC/PROH2 foram delineados de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e as diretrizes dos Fundos Setoriais. Para efetivação do Programa foram propostas, dentre diversas ações estratégicas: a implementação das Redes de informação, de formação e capacitação e de desenvolvimento tecnológico; a participação em mecanismos de cooperação internacional; e o incentivo aos sistemas energéticos CaC (célula a combustível) de produção nacional por meio de projetos de demonstração com a participação da indústria e das concessionárias de energia. Para viabilizar as ações citadas, o Programa conta com o fomento do governo federal, envolvendo o MCT, o MME, e as ações de fomento provenientes das seguintes instituições: MCT/FINEP, MCT/CNPq, ANEEL, ANP e FAPESP, além dos fundos setoriais e do programa PIPE (Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas) da FAPESP (ROHRICH, 2008, p.109).

O programa também estruturou 5 redes em sua reformulação para tentar organizar as pesquisas:

- I) Rede de Células a Combustível tipo membrana troca de prótons (PEM);

- II) Rede de Células a Combustível de Óxido Sólido (SOFC);
- III) Rede de Combustíveis e Hidrogênio;
- IV) Rede de Integração e Sistemas;
- V) Rede de Usuários.

Ao mesmo tempo, em 2004, após o encontro do IEA, o MME (na época chefiado pela ministra de Dilma Rouseff), começa a trabalhar no **Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil**, como parte do acordo do IPHE, onde cada país membro iria desenvolver o seu roteiro. O roteiro foi lançado oficialmente em 2005 e tinha como principal objetivo a introdução da economia do hidrogênio no Brasil até 2025. Os objetivos secundários eram (CGEE, 2010):

- a) diversificação da matriz energética;
- b) redução de impactos ambientais e poluição atmosférica;
- c) redução da dependência externa de combustíveis fósseis;
- d) produção do hidrogênio a partir do gás natural e de fontes renováveis;
- e) planejamento da participação da indústria nacional no desenvolvimento da nova economia do hidrogênio.

O Ministério de Minas e Energia (MME) tem por atribuição propor ao Presidente da República as políticas nacionais e medidas para o setor energético, sendo o representante legal do Brasil para assuntos relativos à política do hidrogênio também no exterior. Assim e que o MME se responsabilizou pela organização e redação final do Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. Para tanto, fez uso da experiência previa com o biodiesel e com o Programa Nacional de Introdução e Uso do Biodiesel, organizando o Roteiro a sua semelhança (ROHRICH, 2008, p.111).

O Roteiro foi dividido em oito capítulos. O primeiro trata do desenvolvimento do mercado do hidrogênio como mais um elemento da matriz energética. O segundo, sobre os

meios de produção do hidrogênio (este capítulo liderado pelo CENEH). O terceiro, sobre a logística do hidrogênio (transporte). O quarto, sobre os sistemas de conversão, ou seja, sobre os meios de utilizá-lo, como as CaC. O quinto descreve as possíveis aplicações do hidrogênio. O sexto e sétimo falam da formação de recursos humanos e normatização, respectivamente. Posteriormente, no final de 2006, foram elaborados os “Projetos Estruturantes”, definindo metas e prazos do programa. Porém, estes projetos foram construídos sem a participação daqueles que formularam o programa original (ROHRICH, 2008).

5.5 – Alguns problemas estruturais

O governo FHC apoiou as pesquisas em células a combustível em consonância com o restante do mundo na época, principalmente após George W. Bush assumir a presidência dos EUA em 2001 e direcionar seu apoio às CaC nos automóveis elétricos, ao invés das tradicionais baterias. O programa brasileiro para a pesquisa em células a combustível (ProCac) só saiu em 2002, no final do mandato de FHC. O primeiro governo Lula ainda apoiou as pesquisas na área, fase em que foi liberada a maior quantidade de verba.

Segundo os secretários do CENEH, enquanto os EUA pretendiam utilizar fontes fósseis combinadas com o seqüestro de carbono para produzir hidrogênio, o Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil, do MME (que faz parte dos programas do IPHE), previa utilizar as células eletrolíticas e o hidrogênio para viabilizar fontes de energia renováveis como a eólica e solar.

Porém, as políticas voltadas para o hidrogênio e as CaC sofreram uma grande interrupção depois da posse de Obama, que deu novamente prioridade ao carro elétrico, já que Obama não é ligado à indústria do petróleo como Bush era. Conseqüentemente, as políticas no mundo todo, incluindo o Brasil, sofreram também com isso um grande desestímulo.

Em maio de 2009, quando o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) publicava um completo estudo sobre a Economia do Hidrogênio no Brasil, o presidente dos Estados Unidos, Barack Obama, anunciava um corte anual de US\$ 100 milhões em investimentos no desenvolvimento de carros movidos a hidrogênio. A decisão do governo norte-americano, na avaliação do assessor do CGEE, Demétrio Filho, irá gerar impactos nas pesquisas do setor no mundo todo. “É difícil avaliar em um curto intervalo de tempo quais serão os impactos. A

maior parte da pesquisa que está sendo realizada hoje é fruto de projetos que já estavam em andamento. Precisamos observar o que vai acontecer de agora em diante (CGEE, 2009).

Os secretários do CENEH também explicam o que aconteceu:

O sistema que o Bush tinha proposto que era o uso do hidrogênio veicular, com células a combustível, foi adiado no governo Obama, que preferiu apostar nas baterias. O que também não deu certo até agora. Os carros elétricos continuam com os mesmos problemas de sempre, que é baixa autonomia e tempo de carga das baterias muito elevado. E as baterias também não caíram de preço, exceto aquelas que os chineses estão fazendo. Então, a nossa expectativa aqui é que mais alguns anos eles vão ver que isso não deu certo e vão voltar pro carro a hidrogênio. E vai voltar. Só que parece que mais uns 8, 10 anos vai ficar isso aí. As grandes montadoras só correram atrás do carro a hidrogênio depois que o Bush falou que queria o carro a hidrogênio (secretário CENEH).

Essa controvérsia é antiga e já foi explorada por Callon (1987). Em seu estudo, o autor fala sobre o desenvolvimento do veículo elétrico na França na década de 70 e esse dilema já aparece. A EDF (Electricité de France) organiza um projeto para o desenvolvimento de um carro elétrico que utilizasse baterias recarregáveis ou células a combustíveis.

Fairly quickly, the catalyst refused to play their part in scenario prepared by EDF: Although cheap (unlike platinum), the catalyst had the unfortunate tendency of quickly becoming contaminated, rendering the fuel cell unusable. The mass market suddenly disappeared like a mirage. The VEL, recognized EDF's engineers, needed batteries whose performance was sufficient for the average users, and this sort of battery might be too expensive to produce for a long time to come (CALLON, 1987, p. 90-91).

Na época, a tecnologia escolhida foram as células a combustível, devido à vantagem do tempo de recarga ser muito menor (como o de abastecer um carro convencional). Porém, naquele momento as células a combustíveis ainda não eram eficientes o suficientes, devido aos catalisadores da época, e as baterias também se mostravam caras, o que levou ao abandono do projeto.

Entretanto, os secretários do CENEH enfatizam que mesmo assim, o hidrogênio e suas tecnologias não foram abandonados. Os carros a bateria tem problemas grandes, como o peso dessas, o preço e o elevado tempo de recarga. Essas dificuldades são problemas técnicos que segundo eles dificilmente serão superados.

Você percebe que eles não largaram totalmente. Você percebe que eles continuam a trabalhar nisso. Claro, menos. Diminuíram os investimentos. Mas eles estão vendo que esse negócio de bateria é furada. Porque quem é do ramo, quem entende, sabe que a possibilidade das baterias atenderam o que o governo americano quer é muito baixa (secretário CENEH).

Segundo os secretários do CENEH, enquanto a FINEP gerenciava e financiava os projetos, as pesquisas e desenvolvimento progrediam, pois tinham autonomia e apoio. No momento que isso passou para o MCT e se organizaram as redes formais através do PROCaC, as coisas começaram a deixar de funcionar adequadamente.

Enquanto a FINEP financiava e coordenava os projetos, tudo estava andando muito bem, tínhamos até projetos de sistemas de CaC que superavam projetos no exterior (como o Vega 1). Porém, quando o MCT lançou o programa (PROCaC) e assumiu a coordenação dos projetos e estruturou as redes, tudo parou de andar. Ninguém mais recebia as verbas nos prazos combinados, o que desestimulava os pesquisadores e criou atrasos generalizados, já que um dependia do outro nesta rede. Não demorou muito até tudo parar (secretário do CENEH).

As instituições de pesquisas envolvidas na rede construída não recebiam os recursos previstos e por isso não era possível cumprir os prazos. A cadeia de desenvolvimento projetada entre as diversas instituições no projeto não funcionava, pois uma dependia da outra e não se cumpriam os prazos. Logo pararam totalmente de receber recursos e tudo se estacionou. Quando o projeto e a rede foram rearranjados no PROH2, foi liberado apenas mais algum montante, as coisas andaram um tempo e logo pararam novamente, devido aos mesmo motivos.

Pode parecer que o programa do MCT e o do MME buscavam as mesmas coisas, ou seja, estimular o desenvolvimento das tecnologias do hidrogênio no mercado brasileiro. E, na

prática, era mais ou menos isso. Segundo o secretário entrevistado do CENEH, o MCT lançou o PROCaC, mas efetivamente não estava sendo feito quase nada. Porém, o MME, na época chefiado por Dilma Roussef, queria que isso fosse pra frente e então tomou isso para si.

Então a Dilma pegou o ministério, essa parte do hidrogênio, e colocou o MME num acordo internacional sobre hidrogênio. Ela foi nos EUA e assinou um convenio de cooperação bilateral em julho de 2003. Em dezembro ela voltou lá para assinar a participação do Brasil no IPHE. E ai obviamente tinha que fazer as coisas. O IPHE propôs que cada membro propusesse o seu roteiro. E ela fez o roteiro. Ai ela pegou várias pessoas que também trabalhavam nesse negócio do hidrogênio no MCT e levou pra lá pra fazer o roteiro. Então, ela começou a trabalhar essa questão do roteiro e dentro do roteiro foi colocado todas as linhas que o Brasil devia seguir em termos de desenvolvimento dessa tecnologia. Ou seja, ela tava fazendo o que o MCT não estava fazendo. Tudo o que acontecia com o hidrogênio acontecia mais no MME que no MCT (secretário do CENEH).

Porém, assim que Dilma Roussef saiu do MME para assumir a Casa Civil em junho de 2005, as coisas relacionadas ao hidrogênio pararam de andar no MME. Segundo secretário do CENEH:

Quando ela saiu, ficou a Maria da Graça Foster, cuidando do hidrogênio no MME, mas a Maria da Graça ficou mais uns 6 meses. Ela terminou o roteiro, teve uma reunião do IPHE no Brasil onde foi apresentado esse roteiro. E logo em seguida a Maria da Graça saiu. Ai acabou. Do jeito que ela largou ficou até hoje. Quando ela saiu, o negócio ficou exatamente no mesmo ponto. A única coisa que aconteceu a mais foi que a gestão seguinte contratou uma atualização do roteiro, contratou uma pessoa pra fazer isso, e não pagaram (secretário do CENEH).

Esses problemas indicados pelo CENEH na rede estruturada pelo MCT lembram os processos (ver capítulo 4.6) identificados por Callon (1986). Num primeiro momento, vários atores se mobilizaram junto à FINEP e o MCT para tentar garantir suas participações e partes do orçamento no programa que seria inaugurado (processo de problematização). Os desacordos que os secretários do CENEH apontam indicam claramente os processos de atração e envolvimento. Porém, não vemos um acordo sólido entre os membros, o que apontaria o desfecho desses processos, nem o início do processo de mobilização, quando os

atores já se veriam como uma coletividade organizada e buscariam uma representação forte e confiável.

Isso nos leva a outro problema muito maior, no caso, relacionado à estrutura da política nacional. No Brasil, as políticas são coisas pessoalizadas, ou seja, dificilmente encontramos políticas de Estado, mas sim de governos, ligadas às pessoas que a iniciaram, e que geralmente se encerram também com elas (ALMEIDA, 2009). Os ministérios, muitos deles considerados de segunda importância, também funcionam como instrumentos de poder para se firmar alianças e dificilmente seus projetos são levados adiante quando há trocas de responsáveis⁸.

Nós temos problemas técnicos, óbvio, porque é uma tecnologia difícil de fazer. Temos dificuldades financeiras porque você não consegue administrar o dinheiro dessa forma. E não há um plano. Nós já fizemos um plano várias vezes. Vamos comprar uma célula de cada, colocar tudo junto pra comparar, entender o estado da arte. Mas não consegue dinheiro pra isso. Então as coisas não andam (secretário CENEH).

Essa falta de compromisso com os programas governamentais é parte do problema relacionado ao financiamento do desenvolvimento e pesquisas de CaC no Brasil. Porém, não é só com programas governamentais que se faz pesquisa e isso faz parte de um problema maior: uma desarticulação entre os setores de pesquisa, governamental e mercado, que exploraremos em seguida.

⁸ - Não é necessário fingir que a nomeação de cargos, principalmente ministérios, não é um elemento político importantíssimo na atual conjuntura política. Para um determinado governo efetivamente governar, é considerado necessário a realização das alianças com outros partidos. Isso não é característico do governo atual ou da época, mas comum a todos desde o fim do governo militar. No entanto, podemos citar algumas notícias relacionadas ao assunto, se ainda há alguma dúvida: “**Dilma aumenta ritmo das nomeações do segundo escalão**” (Fonte: Folha, 12/03/2011, <http://www1.folha.uol.com.br/poder/887890-dilma-aumenta-ritmo-das-nomeacoes-do-segundo-escalao.shtml>); “**Dilma freia nomeações até Congresso votar mínimo**” (Fonte: Folha, 06/02/2011. <http://www1.folha.uol.com.br/poder/871246-dilma-freia-nomeacoes-ate-congresso-votar-minimo.shtml>); “**Dilma Rousseff inicia nomeações de derrotados**” (Fonte: Folha de Pernambuco, 10/03/2011. <http://www.folha.com.br/index.php/caderno-politica/624649>); “**Agricultura vira cabide de emprego da cúpula do PMDB**”, (Fonte: Folha, 07/08/2011. <http://www1.folha.uol.com.br/poder/955735-agricultura-vira-cabide-de-emprego-da-cupula-do-pmdb.shtml>). Acessos: 07/08/2011.

No Brasil, atualmente, as pesquisas e desenvolvimento em CaC se concentram principalmente em três áreas: a) pesquisas em células a combustível de membrana condutora de prótons (PEMFC); b) células a combustível de óxido sólido (SOFC); c) na reforma do etanol para a produção de hidrogênio e catalisadores (CGEE, 2010). Até 2007, cerca de 290 projetos já foram ou estão sendo executados na área de pesquisa em células a combustível e hidrogênio com financiamento público, num total de cerca de R\$133 milhões (MATOS, 2009).

Há também alguns poucos projetos de demonstração em andamento, como alguns ônibus movidos a hidrogênio rodando na cidade de São Paulo e um projeto da UFRJ de colocar alguns ônibus movidos a hidrogênio em 2014 para a copa do mundo no Brasil⁹.

Através da revisão de documentos importantes (CGEE, 2010) e de entrevistas com o pessoal do CENEH e empresários do setor, foi possível constatar os principais entraves tecnológicos e sociais nas pesquisas em células a combustível e hidrogênio. No que se refere aos principais gargalos tecnológicos, os pesquisadores e empresários entrevistados apontam, na seguinte ordem:

- a) A questão do armazenamento do hidrogênio. Apesar de já ser amplamente desenvolvido no resto do mundo cilindros que suportam altas pressões (350 bar ou maior), no Brasil ainda não são desenvolvidos e comercializados cilindros de alta pressão e sua importação é dificultada pela burocracia.
- b) Os altos custos desta tecnologia, que não são subsidiados nem incentivados tributariamente, como são no restante do mundo.
- c) O desenvolvimento e aquisição de equipamentos.
- d) A questão da distribuição do hidrogênio, onde ainda não há uma infra-estrutura para isso.

⁹ - "Ônibus brasileiro movido a hidrogênio começa a rodar em São Paulo", 08/04/2009, disponível em <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=onibus-brasileiro-movido-a-hidrogenio-comeca-a-rodar-em-sao-paulo>; "Ônibus nacional que não polui usa hidrogênio como combustível", 26/05/2010, disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2010/05/onibus-nacional-que-nao-polui-usa-hidrogenio-como-combustivel.html> (acesso em 14/01/2010).

- e) A eficiência das células a combustível. Apesar de já se encontrar na casa dos 50% é um dos maiores desafios a serem superados no Brasil e no mundo para compensar os seus custos.

Não podemos esquecer que estes gargalos tecnológicos estão ligados aos problemas de infra-estrutura, sendo a maior parte na verdade reflexos das limitações da infra-estrutura, como financiamento, formação de RH, normatização, etc.

Segundo os secretários do CENEH, o Brasil ainda está muito atrasado em relação a outros países, até mesmo de países emergentes como a Rússia, China e Índia. Nesses países, o setor governamental e o empresarial parecem estar mais bem articulados do que no Brasil, pois, ao contrário desses países, onde há incentivos fiscais e até mesmo subsídios nessa área, o Brasil tributa normalmente essas pesquisas, onde cerca de 30% dos custos são devidos a impostos.

Os pesquisadores e empresários entrevistados apontam como o maior problema para a pesquisa e desenvolvimento das células a combustível no Brasil as questões de infra-estrutura. Segundo eles, a falta de financiamento e a formação de RH são os maiores problemas para o setor. Apesar do montante já aplicado no Brasil, isso representa apenas cerca de 30% do que Rússia, China ou Índia já investiram cada um ou cerca de 4% do que EUA, Japão ou União Européia já investiram individualmente (CGEE, 2010).

Atualmente há pouquíssimas normas referentes ao uso e funcionamento das células a combustível. Enquanto outros países já estão extremamente avançados nesse quesito (mesmo a Índia), no Brasil há falta de pessoal contratado para esse serviço, e ainda nem se traduziu totalmente as normas dos outros países para se usar como referência (CGEE, 2010). Esse problema atrapalha muito o desenvolvimento de células a combustível pelas empresas brasileiras, já que enquanto não houver padrões definidos, não há garantia de uso e sucesso no futuro. Isso também é um indício de desarticulação entre o setor governamental e o de P&D.

Há a necessidade do apoio aos programas de Tecnologia Industrial Básica (TIB), uma vez que o Brasil já está atingindo um maior patamar na área de hidrogênio, com a necessidade de maior desenvolvimento da pesquisa aplicada e das etapas seguintes, de demonstração e comercialização de bens ligados ao hidrogênio energético. Isso ocorreria com um suporte

maior à cadeia “metrologia, normalização, regulamentação técnica e avaliação da conformidade”, estando incluído também o aumento da confiabilidade metrológica nas medições em sistemas de células a combustível (CGEE, 2010, p. 17).

Essa desarticulação entre os atores não se restringe apenas a área das células a combustível. Com poucas exceções, não há estímulos financeiros ou tributários para P&D de nenhuma tecnologia considerada limpa e renovável. Faltam políticas públicas nesse setor da economia e sobram problemas burocráticos.

A formação de recursos humanos também é alvo de críticas dos empresários da área, pois, a maior parte das pesquisas é feita por alunos de pós-graduação, que abandonam suas pesquisas ao fim de suas bolsas e não encontram posteriormente oportunidades nas empresas para atuar nessa área. Não há no caso uma política governamental que incentive a formação e atuação na área de células a combustível e outras tecnologias consideradas renováveis, o que prejudica no Brasil o desenvolvimento desse setor.

Segundo os pesquisadores entrevistados, parcerias entre as universidades e as empresas privadas também são pouquíssimas até o momento. Como não há um mercado ainda para as células de combustível e não há nenhum incentivo fiscal para o seu desenvolvimento, as empresas geralmente não se arriscam nesse tipo de inovação.

Algumas das poucas parcerias que se concretizaram até o momento são entre as universidades e algumas distribuidoras de energia, mas, somente devido à lei de P&D da ANEEL (resolução nº242 da ANEEL, de 1998) que obriga as empresas do setor elétrico a aplicarem pelo menos 1% de seus lucros em P&D para a eficiência e conservação energética, e são pesquisas muito específicas para as empresas, que só ajudam a universidade com a verba que transferem.

Porém, algumas empresas do setor, como a Hytron (spin-off do CENEH), saíram da universidade. Seus fundadores eram antigos pesquisadores do LH2 e hoje compartilham alguns projetos de pesquisa. Porém, ainda são pouquíssimas empresas e alianças desse tipo.

Uma solução sugerida pelos pesquisadores para esse problema e que também articularia melhor o setor empresarial e o de pesquisa seria a exigência para a sua aprovação de parceria com empresas em projetos de demonstração, além da ampliação desses últimos.

A realização de projetos de demonstração tem como intuito a disseminação de informações relacionadas às tecnologias do hidrogênio ao público alvo leigo. A integração de empresas às instituições de pesquisa no desenvolvimento dos projetos de demonstração deve ser um requisito para sua aprovação. Os recursos necessários à realização dos projetos podem ser oriundos dos Fundos Setoriais CT-Energ e CT-Petro, e projetos de P&D ANEEL (CGEE, 2010, p.19)

Segundo os empresários do setor de células a combustível, o financiamento de projetos para empresas do ramo, é extremamente difícil. Não há nenhuma linha de crédito especial para esse tipo de pesquisa, e o BNDES cobra muitas coisas impossíveis de serem comprovadas por uma empresa que está começando nesse mercado ainda quase inexistente, como comprovação de grandes lucros nos últimos 5 anos. Isso inviabiliza qualquer chance de crédito especial e acaba sobrando apenas o capital de risco, com altos juros.

Há problemas também nas leis, que atrasam o desenvolvimento das pesquisas e evidenciam uma desarticulação entre o setor governamental e o setor de pesquisa e inovação. Os grandes projetos, financiados pela FINEP, sofrem muitos problemas burocráticos e de liberação de verbas. Um ponto muito criticado pelos pesquisadores entrevistados é a **lei 8.666** de 1993¹⁰. Segundo ela, qualquer instituição pública deve convocar licitação para a compra de equipamentos e serviços. Apesar do artigo 24 desta mesma lei prever que é dispensável a convocação de licitação no caso de pesquisas, desenvolvimento e inovação e em casos que o mercado nacional não possua equipamentos com a mesma qualidade necessária ou preço semelhante, as fundações que recebem a verba da FINEP e repassam para os projetos de pesquisa temem algum problema com a interpretação do caso e da lei (bastante confusa) por parte do tribunal de contas e acabam exigindo que os projetos de pesquisa convoquem licitações, mesmo teoricamente sendo dispensável.

Segundo os diretores do CENEH, o novo modelo de financiamento, que passa agora pelas fundações, juntamente com a lei 8.666 atrapalha muito o desenvolvimento das pesquisas. Além da grande demora para a liberação dos recursos, o laboratório tem prestar contas e pagar impostos sobre todos os equipamentos adquiridos.

¹⁰ Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm Acesso em: 21/06/2010.

Poucas empresas no Brasil têm condições de oferecer os equipamentos necessários para a pesquisa em células a combustível e produção de hidrogênio, porém, muitas querem ganhar as licitações. O que os pesquisadores entrevistados dizem que acontece é que muitas vezes algumas empresas reduzem o valor só para ganhar a licitação e depois, só no fim do contrato, declaram que não tem condições de produzir e entregar o equipamento.

É necessário, então, convocar outra licitação... Esse processo atrasa muito as pesquisas e, segundo os pesquisadores, muitas vezes as inviabilizam. Há nesse caso uma evidente desarticulação entre critérios legislativos, econômicos e científicos. É necessário uma adequação da lei para que haja a harmonia necessária para o desenvolvimento tecnológico dessa e de outras tecnologias que dependem parcialmente de equipamentos importados.

A Lei da Inovação (Lei 10.973 de 2004) é completamente sobrepujada pela lei 8.666. Mesmo havendo nessa lei exceção para projetos de P&D quanto à arrecadação de taxas, o que os fiscais e o tribunal de contas levam em conta é a lei 8.666. O laboratório, assim como as empresas que desenvolvem produtos inovadores não tem nenhum subsídio. Isso vai na contramão do desenvolvimento de tecnologias limpas e de inovação no mundo inteiro, onde isso é subsidiado e estimulado.

Todos esses problemas nos revelam uma imensa desarticulação entre o setor governamental e o de pesquisas. Os atores relacionados às pesquisas não têm o apoio necessários dos atores políticos. Ao mesmo tempo, os atores relacionados a essa indústria do hidrogênio e de CaC são muito poucos, já que não encontram estímulos e um mercado adequado. As leis não se encaixam e os modelos de P&D propostos pelos ministérios não funcionam adequadamente devido a essa desarticulação e também a conseqüente fraqueza da coordenação do projeto.

Toda construção de um fato científico ou desenvolvimento de alguma tecnologia, necessariamente se dá por meio de redes heterogêneas para se concretizar. É impossível fazê-lo se não através de uma rede que envolve cientistas, programas políticos, mercado, sociedade civil, etc. Nenhum laboratório moderno ou empresa dedicada ao desenvolvimento de novos produtos pode atuar sozinho. Essa rede que se forma naturalmente pode ser chamada de rede informal se comparada às redes formais estruturadas em um projeto governamental. São essas redes formais que os secretários do CENEH criticam.

Se você quiser que alguma coisa pare de funcionar, é só você formar uma rede. Você formou uma rede, como fizeram com o PROCaC, as coisas param de andar. Ninguém mais faz nada, porque aquele outro não fez, um depende do outro numa rede, aí você não consegue fazer sua parte, atrasam os pagamentos, não pagam você também não faz ninguém mais faz nada. Ou faz muito pouco (secretário do CENEH).

Segundo os secretários do CENEH, o ideal seria que as instituições de pesquisa voltassem a ter autonomia para funcionar (além, é claro, da revisão da lei 8.666 e da lei da inovação), estruturando elas próprias suas redes de pesquisa, como Latour demonstra ser algo “natural” na ciência.

Todos eles [os atores] sabem mais ou menos o que querem. (...) Os grupos alistados sabem que são um grupo; sabem aonde querem chegar; sabem se o caminho previsto está interrompido; sabem até que ponto estão dispostos a se afastar dele; sabem quando voltarem para ele; finalmente, sabem quanto mérito deve caber aos que os ajudaram por algum tempo (Latour, 2000, p.187).

Ainda: “Com o automatismo, grande número de elementos é levado a agir com unicidade. (...) Tem-se uma caixa-preta quando muitos elementos são levados a atuar como um só” (LATOURE, 2000, p. 217).

Com o modelo de gestão chamado de “Big Science” (MORIN, 1996) iniciada após a segunda guerra mundial nos EUA, várias redes formais foram formadas e coordenadas pelos governos e construíram muitas tecnologias importantes. Evidentemente, não significa que isso não possa dar certo, muito pelo contrário. O que se passa é que se os próprios pesquisadores e analistas no Brasil vêem atualmente essas redes formais como algo problemático. Isso é sintomático de uma desarticulação entre os atores do governo e de pesquisa.

Isso é parte de um problema muito maior na política nacional, onde diversos ministérios são criados, porém, recebem muito mais ênfase na escolha de seus membros, muitas vezes aliados ao invés de técnicos ou especialistas no assunto, do que importância, recursos e efetivamente poder para atuar na área em que foram propostos na sua criação.

Muitos projetos desses ministérios são praticamente abandonados de um governo para outro, ou mesmo dentro de um mesmo governo, devido à troca de cargos. Há também muitos projetos que já nascem condenados devido à força e importância atribuídos a alguns ministérios, considerados de segunda importância.

Há um desentendimento entre os interesses do pólo governamental e o pólo econômico nesse caso, o que leva a uma grande dificuldade de articulação entre os agentes da pesquisa e de produção de células a combustível. Segundo os entrevistados, essa incoerência é reflexo da política recentemente adotada quanto à pesquisa e desenvolvimento das células a combustível.

De acordo com os entrevistados, à medida que o tempo foi passando, a rede proposta no primeiro programa (PROCaC) e reformulada no seguinte (ProH2) foi perdendo força e nunca funcionou de forma adequada. Segundo eles, o coordenador das redes não tem força o suficiente para dirigir as pesquisas em algum sentido ou concentrar os esforços em alguma área, devido à grande liberdade que os cientistas possuem para decidir o que pesquisar, segundo a própria estrutura da pesquisa científica no Brasil. Não há grandes centros de pesquisa públicos no Brasil, e as universidades e pesquisadores têm bastante autonomia para decidir em que vão dedicar seus esforços. A fragilidade da rede proposta pelo MCT no ProH2 é um indício dessa desarticulação entre o setor governamental e o de P&D.

Isso não impede que as pesquisas em células a combustível no Brasil engatem, mas é preciso repensar a estrutura formulada no ProH2 se quisermos facilitar a articulação dos agentes ligados à pesquisa e à produção de células a combustível e viabilizar o seu desenvolvimento. O programa precisa visar mais a interação entre universidade e empresas e diminuir a burocracia para os projetos e liberação de recursos.

Mais linhas de crédito especial (ou alguma) precisariam ser criadas para esse tipo de inovação (tecnologias limpas e renováveis) no Brasil e algumas leis relativas à tributação e importação de equipamentos também precisariam ser alteradas. Tudo isso na verdade são apenas componentes de uma política governamental.

Segundo os diretores do CENEH, é impossível para o Brasil atualmente competir em tecnologias de ponta, como a construção de células a combustível eficientes para utilização em veículos, com empresas estrangeiras, como as dos EUA, que investiram bilhões de dólares em pesquisas, enquanto no Brasil foram investidos apenas alguns milhões, ou seja, cerca de mil vezes mais. A sugestão do CENEH é investir em P&D de tecnologias que não são

exploradas lá fora (como muitas outras vezes é feito em outras áreas), como em **sistemas** de células a combustível.

Sistemas nada mais são que os arranjos necessários para que, por exemplo, uma célula a combustível movimente um carro, alimente um dispositivo eletrônico, como computadores portáteis, etc. A célula a combustível pode ser importada (já que é muito mais barata e eficiente que uma nacional), porém todo o restante pode ser nacional.

Um nicho tecnológico em que sistemas de células a combustível deve rapidamente se consolidar é o que hoje é dominado pelas baterias, como notebooks, celulares e outros equipamentos eletrônicos. Uma pequena célula a combustível carregada com uma pequena quantidade de hidrogênio comprimido é muito mais leve do que uma bateria de lítio. Ainda por cima, podem ser muito mais duradouras (em duração da carga e vida útil) que as tradicionais baterias, e também podem ser facilmente carregadas. As baterias em geral devem ser rapidamente substituídas por células a combustível, provavelmente antes de todas as outros usos energéticos do hidrogênio se estabelecer.

Outra coisa importante que pode ser desenvolvido no Brasil é a produção de hidrogênio, necessária para a consolidação do uso energético do hidrogênio e das tecnologias relacionadas. Do mesmo jeito que no caso anterior, a célula eletrolítica ou fotovoltaica pode ser importada, porém todo o restante do sistema reformador pode ser nacional. É necessário investir nesses sistemas para que possa se produzir a quantidade de hidrogênio necessária e a um baixo custo.

Tem um mercado pra hidrogênio hoje, mas é insumo químico. O que nós queremos é pegar uma carona com esse mercado. Ou então substituir baterias com células combustíveis, mas células importadas, não tem quem forneça aqui. O que nós queremos é desenvolver tecnologia principalmente para produção de hidrogênio. Que a produção de hidrogênio pelo menos seja nossa (secretário CENEH).

Para os secretários do CENEH, o mercado de hidrogênio, assim como os veículos movidos a hidrogênio com CaC, devem se tornar uma realidade no Brasil, assim como no resto do mundo. O Brasil deve acompanhar os outros países nesse sentido, pois assim que começarem a chegar os carros movidos a hidrogênio, que devem chegar, devido à evolução

que têm tido em sua eficiência (muito mais eficiente que um motor a combustão) e custo, o mercado rapidamente se movimenta e implementa todo o resto necessário - infra-estrutura de produção, armazenamento, transporte, abastecimento - para suportar o novo paradigma.

Neste ponto uma comparação faz-se útil. Imagine os tempos iniciais da invenção do automóvel. Não havia infra-estrutura para a rolagem dos automóveis, que tinha, por sua vez, preços proibitivos. A gasolina não era nem abundante nem barata e tampouco se encontrava em cada esquina. Pois bem, aproximadamente cem anos depois o automóvel tornou-se acessível, existem estradas para sua rolagem e pode-se abastecê-lo em qualquer lugar, ou seja, aprendemos a lidar com o combustível e, com a produção em massa e o mercado, os preços caíram (LINARDI, 2008).

Os secretários do CENEH utilizam o exemplo do Gás Natural. No início também se dizia que não havia infra-estrutura, que não havia combustível, que não havia postos de abastecimento, etc, e que por isso não poderia dar certo. Porém, assim que chegaram e se converteram os primeiros automóveis a gás natural, rapidamente os postos se adequaram, empresas começaram a construir e fornecer os equipamentos, empresas passaram a se dedicar ao transporte do gás, que requeria equipamento especial, e o gás natural, que se era queimado nas plataformas da Petrobrás por não se ter o que fazer com ele, começou a ser aproveitado. Segundo eles, com o hidrogênio deve acontecer a mesma coisa. Já existem equipamentos para se produzir hidrogênio purificado, são simples, e assim que começarem a aparecerem os veículos, deve surgir espontaneamente também toda a infra-estrutura necessária.

Ainda, muito antes dos veículos, segundo o CENEH deve se consolidar o uso da geração estacionária com hidrogênio. As tecnologias nessa área já estão muito mais desenvolvidas e são muito mais requeridas no momento. São necessárias em estações de geração de segurança em locais que não podem ficar sem energia, como hospitais, centros de telecomunicação, laboratórios, etc. Também em locais que não estão conectados ao sistema elétrico nacional, como comunidades isoladas. Nestes exemplos, os velhos geradores a dieses ou querosene devem ser substituídos por células a combustível movidas a hidrogênio, que são muito mais eficientes e silenciosas, além de darem muito menos problemas. Assim que começarem a ser utilizadas, sua produção em escala deve reduzir muito os seus custos, tornando mais viáveis que os velhos sistemas geradores. Inclusive, já são utilizados por algumas empresas.

Capítulo 6: Conclusão

O setor de pesquisas e desenvolvimento em células a combustível sofreu uma estagnada no mundo todo após a saída de George W. Bush da presidência dos EUA. Ao que nosso estudo aponta, essas pesquisas devem continuar, porém, num ritmo mais lento com a desaceleração da sua principal locomotiva, o setor automobilístico. Devemos lembrar que as células a combustível possuem inúmeras aplicações, que continuam avançando e devem se converter em produtos produzidos em larga escala em menos tempo que os automóveis movidos a CaC.

Pelo o que pudemos constatar através da bibliografia e as entrevistas no CENEH, as pesquisas e desenvolvimento em células a combustível no Brasil têm enfrentado sérias dificuldades e não temos células competitivas para aplicar em automóveis, por exemplo. Porém, talvez isso não seja mesmo o mais interessante para a o Brasil, já que no exterior as grandes montadoras possuem infra-estrutura para desenvolver essa tecnologia e já investiram bilhões, ao passo que no Brasil somente alguns milhões foram investidos e não há previsão de aumento desse orçamento.

O pouco de pesquisa que há nessa área se deve em maior parte à resolução 242 de 1998 da ANEEL que obriga as empresas produtoras e distribuidos de energia a aplicarem pelo menos 1% de seus lucros em pesquisas sobre eficiência energética, sob pena de multa.

Muitas vezes os programas e as políticas relacionados à P&D em células a combustível sofrem descontinuidades assim com a mudança de ministros ou governos, não se transformando em políticas consolidadas. Os programas como o ProH2 do MCT e o Roteiro do MME são considerados fracos pelos pesquisadores consultados, devido aos coordenadores não terem influência e recursos suficientes para conduzir e direcionar essas linhas de pesquisas e desenvolvimento.

A infra-estrutura para P&D na área de células a combustível continua sendo muito pequena e fraca. Há pouquíssimo investimento nessa área (mesmo se comparados a outros países em desenvolvimento), não há linhas de crédito especiais, nem mesmo estímulos tributários para esse tipo de tecnologia. Ainda há pouca formação de recursos humanos neste setor e os que se formaram dificilmente continuam atuando na área, devido ao desinteresse atual das empresas em desenvolver esse tipo de tecnologia e conseqüentemente poucas parcerias com as universidades.

Para o setor automobilístico, podemos esperar uma inserção ainda mais lenta em solo nacional. Assim como acontece atualmente com os carros híbridos, que não são montados e nem importados ao Brasil devido à falta de incentivos fiscais, os carros movidos a CaC deverão sofrer os mesmos problemas.

Não há indicativos (pesquisas, investimentos, patentes) que apontem que o Brasil deva exercer algum domínio sobre o setor de células a combustível. Porém, os secretários do CENEH consultados apontam que talvez fosse mais vantajoso para o país ser auto-suficiente na produção do hidrogênio - assim como fizemos com o etanol - ao invés de tentar ser competitivo no mercado de CaC. Também focar na geração estacionária de energia para regiões afastadas e sistemas de segurança e no desenvolvimento de sistemas de células a combustível, para podermos aplicar em produtos e necessidades nacionais.

Concluindo, podemos dizer que os processos de translação nas pesquisas e desenvolvimento em células a combustível no Brasil não estão funcionando adequadamente na maior parte das vezes. A falta de políticas públicas, financiamentos, regulamentações, incentivos fiscais, contradições nas leis, etc, demonstram uma grande desarticulação entre o setor governamental, o empresarial e o de P&D em células a combustível. Essa desarticulação entre os diversos setores muitas vezes inviabiliza os processos de translação necessário ao fechamento das caixas-pretas.

Referências

- Agência Nacional do Petróleo - ANP, *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*, 2010.
- ALMEIDA, Paulo, *Sobre políticas de governo e políticas de Estado: distinções necessárias*, 2009. Disponível em: <http://www.imil.org.br/artigos/sobre-politicas-de-governo-e-politicas-de-estado-distincoes-necessarias> (acesso em 15/11/2011)
- ARAÚJO, P. D., *Impactos Ambientais e na Matriz de Consumo de Combustíveis pela Introdução de uma Frota de Veículos Leves com Células a Combustível na Cidade de São Paulo - SP*, Campinas, SP, 2006.
- AZUAGA, *Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil*, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2000.
- BERMANN, C., *Energia no Brasil: para quê? para quem? Crise e alternativas para um país sustentável*. São Paulo, Ed. Livraria da Física, 2001. ISBN: 85-88325-06-3
- BLOOR, D. *Conocimiento e imaginario social*. Barcelona: Gedisa, 1998.
- BOURDIEU, P. *Os usos sociais da ciência: por uma sociologia clínica do campo científico*. São Paulo: UNESP, 2004.
- BOURDIEU, P. *Para uma Sociologia da Ciência*. Lisboa: Edições 70, 2001.
- 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. (1986). Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fisherman of St Briec Bay. Apud: SILVA, C. V. *A dinâmica da produção tecnológica: integrando as análises da sociologia e da economia*, Campinas, SP, 2007.
- CARSON, R. (1962). *Primavera Silenciosa*, Edições Melhoramentos, São Paulo, SP, 1969.
- CARVALHO, C. B., *Avaliação crítica do planejamento energético de longo prazo no Brasil, com ênfase no tratamento das incertezas e descentralização do processo*. UNICAMP, Campinas, SP, 2005.
- CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, *Hidrogênio energético no Brasil. Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025*, 2010.
- CGEE, *Boletim*, Novembro, 2009. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/noticias/index.php?boletim=25> (acesso em 08/11/2011).
- Empresa de Pesquisa Energética - EPE. <http://www.epe.gov.br/Paginas/Default.aspx>

CENEH – Centro de Referência em Energia do Hidrogênio. Termo de Convênio, Campinas, SP, 1999.

FEARNSIDE, P. M., *Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: the example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives*. Environmental Conservation 24, 1997, p. 64-75

FERREIRA, P. P., *Análise da viabilidade de sistemas de armazenamento de energia elétrica na forma de hidrogênio utilizando células a combustível*. Campinas, SP, 2008.

FEYERABEND, P., *Contra o método*, Editora UNESP, São Paulo, SP, 2011.

GAYARD, N., *Dinâmica de conhecimento na cooperação internacional para o meio ambiente: uma análise do ônibus movido a hidrogênio no Brasil com recursos do Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GED)*, UNICAMP, Campinas, SP, 2011.

HINOSTROZA S. M. L., *Política Energética e Desenvolvimento Sustentável: Taxa sobre o carbono para mitigação de gases de efeito estufa no Brasil*. UNICAMP, Campinas, SP, 2000.

IEA, International Energy Agency. Hydrogen & Fuel Cells: Review of National R&D Programs, OECD/IEA, 2004

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD)*, 2009.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007 Synthesis Report, 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf. acesso em 04/01/2011.

IPCC, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 1996.

IPHE, *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis*, 2010 (disponível em: http://www.iphe.net/docs/Resources/Power_trains_for_Europe.pdf, acesso em 04/02/2011)

JUNK, W. J. & MELLO, J. N., *Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira*. In: Homem e Natureza na Amazônia. Tübinger Geographische Studien 95, 1987, p. 367-358.

KUHN, T. A Estrutura das Revoluções Científicas. São Paulo, 2005.

LATOUR, B. & WOOLGAR, S. *A Vida de Laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LATOUR, B. *A Esperança de Pandora: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos*. Bauru, SP, EDUSC, 2001.

LATOUR, B. *Ciência em ação: Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo, UNESP, 2000.

LATOUR, B. *Jamais Fomos Modernos*. Rio de Janeiro. Ed. 34, 1994.

LINARDI, Marcelo. *Hidrogênio e Células a Combustível*. Economia & Energia. Ano XI, nº66, Fevereiro-Março 2008. ISSN 1518-2932. Disponível em: http://ecen.com/eee66/eee66p/hidrogenio_e_celulas_a_combustivel.htm (acesso em 08/11/2011)

LOPES, D. G., *Análise técnica e econômica da inserção da tecnologia de produção de hidrogênio a partir da reforma de etanol para geração de energia elétrica com células a combustível*. Campinas, SP: [s.n.], 2009.

MANNHEIM, K. (1974), *Ideologia e utopia*. 4 ed. Rio de Janeiro: Zahar.

MATOS, M. *Investimentos financeiros em projetos de célula a combustível e hidrogênio no Brasil*. UNICAMP, Campinas, SP, 2009.

MERTON, R. K. *Sociologia: teoria e estrutura*. São Paulo: Mestre Jou, 1970.

MERTON, R. K. *Sociologia do conhecimento*. (Org.) Zahar, Rio de Janeiro, 1974.

McCORMICK, J. *Rumo ao Paraíso: a história do movimento ambientalista*. Rio de Janeiro: Relume-Durnarã, 1992

Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, *Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível (PROCaC)*, 2002.

Ministério de Minas e Energia - MME, *Balço Energético Nacional (BEN)*, 2010. disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf> acesso em: 24/01/2011

MORIN, E. *Ciência com consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

United Organization (ONU), *Our Common Future*, 1987. 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 02/12/2011)

PEREIRA, Newton Muller. O fim do petróleo e outros mitos. ComCiencia, N. 38, dez. 02/jan. 2003. Apud: ROHRICH, S., *Descarbonização do Regime Energético Dominante: Perspectivas para a economia do hidrogênio no Brasil*. UNICAMP, Campinas, SP, 2008.

PIRES, FERNANDES Y FERNANDES, BUENO (organizadores), *Política Energética para o Brasil: propostas para o crescimento sustentável*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 2006.

RIFKIN, J., *A economia do hidrogênio*, São Paulo, M.Books, 2003.

ROHRICH, S., *Descarbonização do Regime Energético Dominante: Perspectivas para a economia do hidrogênio no Brasil*. UNICAMP, Campinas, SP, 2008.

SILVA, E. P., *Introdução à Economia do Hidrogênio*, Campinas, SP, Editora Unicamp,

1991.

SILVA, J. C. da, *Análise do impacto ambiental do processo de produção de Hidrogênio*, Campinas, SP, 2005.

SILVA, S. T. A proteção da qualidade do ar. Jus Navigandi, Teresina, ano 2, n. 16, 20 jul. 1997. Disponível em: <<http://jus.uol.com.br/revista/texto/1696>>. Acesso em: 6 jun. 2011.

SOUZA, V., *Contribuição para o projeto básico de uma célula de combustível de eletrólito polimérico*. UNICAMP, Campinas, SP, 2002.

UNEP (United Nations Environment Program), *Climate Change*. UNEP, Geneva, Switzerland, 1993.

VEIGA, J. E. Introdução. In: VEIGA, J. E. (org). *Aquecimento Global: frias contendas científicas*. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2008.

Anexo: Modelo das entrevistas

- 1) Desde quando você tem trabalhado com pesquisas em células a combustível? Em quais laboratórios?¹¹
- 2) Quais são os principais desafios tecnológicos que as pesquisas em células a combustível e produção do hidrogênio no LH2 vêm enfrentando no momento? Como torná-las viáveis e competitivas?
- 3) Qual sua previsão para o uso energético do hidrogênio no Brasil? E no setor veicular?
- 4) Quais são os principais problemas estruturais (infra-estrutura, laboratórios, financiamentos, equipamentos, recursos humanos, normas, etc) referentes à pesquisa em CaC e produção do hidrogênio em sua opinião?
- 5) Como você vê o processo de normatização nesse setor?
- 6) Quais os órgãos e instituições mais atuantes em sua opinião?
- 7) Como tem sido a interação entre a universidade e as empresas privadas?
- 8) Quais convênios o CENEH tem atualmente? E o LH2?
- 9) O que acha que poderia alavancar o surgimento e crescimento de empresas nesse setor no Brasil?
- 10) O que você acha da lei 8.666 de 1993? Como ela está interferindo nessa área de pesquisa?
- 11) Como vê o programa ProH2 do MCT? Está conseguindo cumprir suas metas?
- 12) Como você vê a articulação entre o setor governamental, de P&D e empresarial na questão das CaC e hidrogênio?
- 13) A atual presidente Dilma foi a ministra do MME e quem assinou na época o convênio do Brasil com o IPHE e o Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. Você acha que ela está comprometida com o tema? Foi feito algo novo desde a sua posse?

¹¹ Obs: Por se tratar de entrevistas semi-estruturadas, as questões serviram como um apoio para explorar os principais assuntos relacionados ao tema, porém, não foram seguidas e respondidas à risca. Ajudaram trazer à tona assuntos e questões de grande interesse dos entrevistados, o que foi mais explorado e pode-se conferir nas citações dos entrevistados no quinto capítulo.