

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

TATIANE DA SILVA VERAS

ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DA CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO NO  
BRASIL E A PROPOSIÇÃO DE UMA AGENDA DE TRABALHO SETORIAL

Volta Redonda  
2015

TATIANE DA SILVA VERAS

ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DA CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO NO  
BRASIL E A PROPOSIÇÃO DE UMA AGENDA DE TRABALHO SETORIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

ORIENTADORA: Profa. *D.Sc.* Aldara da Silva César

CO-ORIENTADORES: Profa. *D.Sc.* Danielle da Costa Rubim Messeder dos Santos

Prof. *D.Sc.* Thiago Simonato Mozer

Volta Redonda

2015

V476 Veras, Tatiane da Silva.

Análise da competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil e a proposição de uma agenda de trabalho setorial. / Tatiane da Silva Veras. – Volta Redonda, 2015.

182 f. il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal Fluminense.

Orientador: Aldara da Silva César.

Coorientadores: Danielle da Costa Rubim Messeder dos Santos; Thiago Simonato Mozer.

1. Hidrogênio. 2. Cadeia produtiva energética. 3. Direcionadores de competitividade. 4. Matriz SWOT. 5. Agenda de ações. I. César, Aldara da Silva. II. Santos, Danielle da Costa Rubim Messeder. III. Mozer, Thiago Simonato. IV. Título.

CDD 338

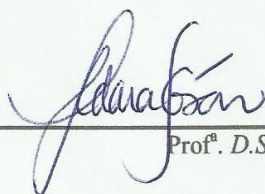
TATIANE DA SILVA VERAS

ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DA CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO NO  
BRASIL E A PROPOSIÇÃO DE UMA AGENDA DE TRABALHO SETORIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Tecnologia Ambiental da  
Universidade Federal Fluminense, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Mestre em Tecnologia Ambiental.

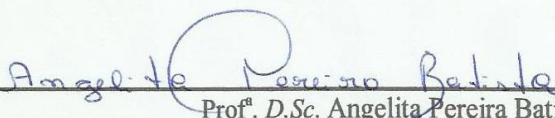
Aprovada em 09 de Junho de 2015

BANCA EXAMINADORA



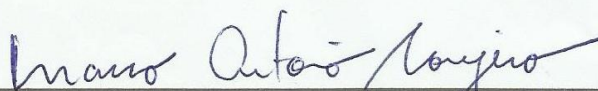
---

Profª. D.Sc. Aldara da Silva César – UFF  
Orientadora



---

Profª. D.Sc. Angelita Pereira Batista - UFF



---

Prof. Dr. Marco Antonio Conejero – FACCAMP/FAAP

Volta Redonda  
2015

Dedico

à LUÍZA e DANIEL  
*meus filhos, e*

à ALDARA CÉSAR  
*minha orientadora.*



## AGRADECIMENTOS

À Deus pois dEle, para Ele e por Ele são todas as coisas. És soberano! Sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais Antônio e Sônia e a meus irmãos Jefferson, Thiago e Thamiris, pelo carinho, confiança e compreenderem minha ausência, na medida do possível.

Ao meu esposo Christian, pelo companheirismo.

À minha Orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Aldara da Silva César, pelo incentivo e pelo aprendizado que me proporcionou durante estes últimos anos, sempre me mostrando o melhor caminho a seguir. Por me mostrar o potencial que nem eu mesma via em mim. Aprendi muito, obrigada!

Aos meus co-orientadores Prof<sup>o</sup> Dr. Thiago Simonato Mozer e Prof<sup>a</sup>. Dra. Danielle da Costa Rubim Santos, por todo o aprendizado, incentivo e despertarem o interesse pelo hidrogênio.

Aos amigos de turma: Júlia, Marcela, Débora, Vanessa, Daniele, Irinea e Andreza e aos amigos: Robson, Danielle, Tamara e Marcos, por toda a colaboração e apoio na conclusão de mais uma etapa em minha vida.

Aos agentes entrevistados que, sem eles, o trabalho teria sido em vão.

À Universidade Federal Fluminense (UFF) e ao Curso de Pós-Graduação Tecnologia Ambiental.

À CAPES pelo auxílio financeiro concedido durante o trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração dessa dissertação.

## RESUMO

A busca por novas fontes de geração de energia limpas, renováveis e alternativas às fontes de origem fóssil ganham forças em países que têm se preocupado com as questões ambientais. No contexto atual, o motor a combustão e os combustíveis fósseis caracterizam o regime energético dominante, realidade que também apresenta constante crescimento populacional, econômico e energético. Contudo, fontes renováveis são estudadas como alternativas para assegurar a sustentabilidade das sociedades modernas. Destas, ganha destaque o hidrogênio – um promissor vetor energético -, capaz de influenciar a estrutura da sociedade, levando ao estabelecimento da Economia do Hidrogênio (E.H.). O hidrogênio já possui importância industrial no Brasil e cresce os estudos a cerca de seu uso como vetor energético e a célula a combustível, como sistema de conversão. Nesse trabalho, a problemática da pesquisa está em como a cadeia produtiva do hidrogênio pode se tornar competitiva e quais são os fatores de competitividade que direcionam esse caminho. Para tanto, esta dissertação analisa o atual regime energético brasileiro e o hidrogênio como uma opção energética, tentando, portanto, compreender as possibilidades de transição para a E.H.. A metodologia usada foi a análise de direcionadores e indicadores de competitividade, permitindo uma avaliação qualitativa dos direcionadores escolhidos: tecnologia, insumos e infraestrutura, gestão, estrutura de mercado e governança e ambiente institucional. O presente estudo revelou que a maioria dos direcionadores de competitividade elencados, na visão dos entrevistados, possuem uma distribuição equilibrada entre direcionadores desfavoráveis, neutros e favoráveis dos segmentos insumos e indústria. O segmento conversão (uso de CaC) apresentou a maioria dos direcionadores favoráveis. Como conclusão, nos segmentos estudados, os principais determinantes de desempenho competitivo são tecnologia e ambiente institucional. Por conseguinte, foi proposta uma agenda de trabalho, a partir de uma SWOT cruzada, na busca de propor estratégias setoriais.

**Palavras-chave:** Hidrogênio, cadeia produtiva energética, direcionadores de competitividade, Matriz SWOT, Agenda de Ações.



## ABSTRACT

The search for new sources of generation of clean energy, renewable energy and alternative sources of fossil origin earn forces in countries that have been concerned with the environmental issues. In the current context, the combustion engine and the fossil fuels characterize the regime dominant energy, reality that also features constant population growth, economic and energy. However, renewable sources are studied as alternatives to ensure the sustainability of modern societies. Of these, gains prominence hydrogen – a promising energy vector –, capable of influencing the structure of society, leading to the establishment of the Hydrogen Economy (E.H.). The hydrogen already has industrial importance in Brazil and grows the studies about its use as energy vector and the fuel cell, as conversion system. In this study, the research problem is how the productive chain of hydrogen can become competitive and what the factors of competitiveness that directs this way are. For both, this thesis analyzes the current regime Brazilian energy and hydrogen as an energy option, trying, therefore, to understand the possibilities for transition to the H. E.. The methodology used was the analysis of drivers and indicators of competitiveness, allowing a qualitative assessment of the directors chosen: technology, inputs and infrastructure, management, market structure and governance and institutional environment. The present study revealed that the majority of the directors of competitiveness cataloged, in view of the interviewees have a balanced distribution between directors unfavorable, neutral and favorable segments of inputs and industry. The segment conversion (use of CaC) presented the majority of the directors. As a conclusion, in segments studied, the main determinants of competitive performance are technology and institutional environment. Therefore, it was proposed a schedule of work, from a SWOT crusade, in search of propose sectoral strategies.

**Keywords:** Hydrogen, Production Chain-energy, Drivers of Competitiveness, SWOT Matrix, Agenda of Actions

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
3.1 COMPETITIVIDADE .....	8
3.2 CADEIAS PRODUTIVAS E SUA ANÁLISE.....	12
3.3 DIRECIONADORES E INDICADORES DE COMPETITIVIDADE - UM MODELO DE ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DE SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS .....	20
3.4 MODELO PROPOSTO PARA ANÁLISE DE COMPETITIVIDADE DA CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO .....	21
3.4.1 Tecnologia .....	22
3.4.2 Insumos e Infraestrutura .....	23
3.4.3 Gestão .....	25
3.4.4 Estrutura de Mercado e Governança.....	25
3.4.5 Ambiente Institucional.....	27
3.4.6 Resumo dos direcionadores .....	27
<b>4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>29</b>
4.1 NATUREZA DA PESQUISA.....	30
4.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	30
4.3 ABORDAGEM DA PESQUISA .....	31
4.4 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA.....	32
4.5 MÉTODO PARA COLETA DE DADOS DA PESQUISA .....	32
4.6 ANÁLISE DOS DADOS .....	34
4.7 ESTRUTURAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	34
<b>5. PANORAMA DA ECONOMIA DO HIDROGÊNIO .....</b>	<b>37</b>
5.1 PANORAMA DA ENERGIA NO MUNDO E NO BRASIL .....	37
5.2 PANORAMA DO HIDROGÊNIO NO MUNDO E NO BRASIL.....	47

5.2.1 Hidrogênio no Brasil .....	55
5.3 PANORAMA DAS TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A PRODUÇÃO DO HIDROGÊNIO .....	62
5.3.1 Tecnologias de produção de hidrogênio.....	69
5.3.1.1 Gaseificação da Biomassa .....	69
5.3.1.2 Reforma a vapor do Etanol.....	71
5.3.1.3 Eletrólise da água .....	72
5.3.1.4 Reforma a vapor do gás natural.....	73
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>81</b>
6.1 RESULTADOS A PARTIR DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	81
6.1.1 CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO .....	81
6.1.2 Direcionadores.....	82
6.1.2.1 Tecnologia .....	82
6.1.2.2 Insumos e Infraestrutura .....	88
6.1.2.3 Gestão .....	95
6.1.2.4 Estrutura de Mercado e Governança .....	98
6.1.2.5 Ambiente Institucional .....	103
6.1.3 SWOT a partir da revisão bibliográfica .....	106
6.2.2 Nova SWOT a partir da pesquisa de Campo.....	128
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>144</b>
7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	144
7.2 SUGESTÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	151
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>153</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>175</b>

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da Dissertação .....	6
Figura 2: Cadeia Produtiva Agroindustrial. ....	14
Figura 3: Exigências para a competitividade no mercado. ....	17
Figura 4: Matriz SWOT. ....	19
Figura 5: O modelo de Direcionadores de competitividade potencial e o espaço de análise. .	21
Figura 6: O modelo proposto para a análise de competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio. ....	22
Figura 7: Fluxograma de classificação de uma pesquisa. ....	29
Figura 8: Estrutura de Desenvolvimento da Pesquisa.....	36
Figura 9: Projeção para o uso de fontes de energia.....	38
Figura 10: Matriz energética mundial em 2013(%). ....	39
Figura 11: Matriz energética no Brasil em 2013(%). ....	40
Figura 12: Participação de renováveis na matriz energética.....	41
Figura 13: Matriz energética mundial e no Brasil nos últimos 40 anos.....	42
Figura 14: Transição do sistema energético global 1850-2150. ....	45
Figura 15: Progressão no conteúdo em hidrogênio dos combustíveis. ....	45
Figura 16: Possibilidades tecnológicas de evolução da cadeia. Transição para a E.H. ....	48
Figura 17: Ações projetadas após a elaboração do Roteiro Beta. ....	56
Figura 18: Prioridades do Roteiro Beta.....	57
Figura 19: Visão governamental das parcerias buscadas pelo Brasil. ....	60
Figura 20: Organização das Instituições envolvidas na promoção do hidrogênio no Brasil. ..	60
Figura 21: Possíveis rotas para a produção e utilização do hidrogênio como vetor energético. ....	63
Figura 22: Distribuição de energia primária através das fontes para a produção de hidrogênio. ....	63
Figura 23: Esquema representativo da função logística em um sistema energético. ....	65
Figura 24: Processo convencional de reforma a vapor de metano para produção de hidrogênio. ....	74
Figura 25: Distribuição mundial das reservas de gás natural.....	76
Figura 26: Proposta de Cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil. ....	82
Figura 27: Levantamento preliminar – projetos de produção de H <sub>2</sub> a partir de fontes renováveis. ....	83
Figura 28: Patentes sobre produção de hidrogênio, depositadas no INPI.....	86
Figura 29: Prioridades do Roteiro Beta.....	104
Figura 30: Estratégias alternativas a partir da matriz SWOT cruzada. ....	131

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1: Definições de competitividade e autores.....	11
Quadro 2: Direcionadores e indicadores propostos para a cadeia produtiva do hidrogênio.....	28
Quadro 3: Classificação da pesquisa.....	30
Quadro 4: Especificações das entrevistas.....	33
Quadro 5: Oportunidades e ameaças do hidrogênio frente às demais fontes energéticas.....	46
Quadro 6: Investimentos públicos e privados em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para o hidrogênio e a célula a combustível.....	53
Quadro 7: Oportunidades e ameaças da E.H. do Brasil frente a E.H. no mundo.....	58
Quadro 8: Programas e Políticas setoriais para a produção de hidrogênio.....	59
Quadro 9: Tecnologias e insumos aplicados ao hidrogênio como vetor energético.....	66
Quadro 10: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Tecnologia.....	88
Quadro 11: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Insumos e Infraestrutura.....	94
Quadro 12: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Gestão.....	98
Quadro 13: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Estrutura de Mercado e Governança.....	103
Quadro 14: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Ambiente Institucional.....	106
Quadro 15: Análise SWOT a partir da revisão bibliográfica.....	109
Quadro 16: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Tecnologia.....	115
Quadro 17: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Insumos e Infraestrutura.....	118
Quadro 18: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Gestão.....	120
Quadro 19: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Estrutura de Mercado e Governança, na visão dos agentes.....	123
Quadro 20: Antes e Depois dos Programas/Políticas voltadas a E.H.....	126
Quadro 21: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Ambiente Institucional.....	128
Quadro 22: Análise SWOT da E.H. no Brasil, a partir da pesquisa de campo.....	129

**LISTAS DE TABELAS**

Tabela 1: Comparação de emissão de CO <sub>2</sub> por tipo de combustível. ....	38
Tabela 2: Produção de gás natural de Outubro a Dezembro de 2014. ....	78

## LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da Matriz energética 2010-2040.....	44
Gráfico 2: Produção de Gás natural.....	79

## LISTAS DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BEN	Balanco Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CADE	Conselho Administrativo de Defesa Econômica
CENEH	Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CSA	<i>Commodity System Approach</i>
DOE	<i>United States Department of Energy</i>
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNL	Gás natural liquefeito
GTL	Gás-para-líquidos
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IPHE	<i>International Partnership for the Hydrogen Economy</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDL	Mecanismo de desenvolvimento limpo
MEN	Matriz Energética Nacional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico



P & D	Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDEE	Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica
PNE	Plano Nacional de Energia
ProH2	Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio
SWOT	<i>Strenghts, Weaknesses, Opportunities e Threats</i>



## 1. INTRODUÇÃO

A sociedade moderna é caracterizada por uma dependência crescente do uso de energia (RIFKIN, 2003), tanto que, os indicadores de desenvolvimento social e econômico atuais estão diretamente relacionados a elevados níveis de consumo de energia *per capita* (GOLDEMBERG, 1998; KAMMEN, 2006) e, por isso, o crescimento do consumo de energia está diretamente proporcional ao crescimento populacional. Estima-se que a população mundial chegará a aproximadamente 7,5 bilhões de pessoas até 2025 e, conseqüentemente, o consumo mundial de energia será de cerca de 50-60% superior em relação ao consumo vigente (TOLMASQUIM *et al.*, 2007).

Para Nakicenovic (1999), a percepção sobre o futuro energético tem mudado dramaticamente durante as últimas décadas. Adicionalmente, com a crescente demanda energética, a (in)segurança energética e estimativas de previsão (para 2050) de esgotamento das fontes fósseis (IEA, 2009) - na qual se sustenta a maior parte dos países para geração de energia estacionária e veicular-, corroboram para que alternativas energéticas sejam uma constante preocupação dos governos (IEA, 2010).

No que tange a questão ambiental, Rifkin (2003) afirma que a elevação de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) é decorrente do atual desenvolvimento econômico mundial. Complementarmente, para Rohrich e Pereira (2001), o aumento da demanda energética ocasiona alguns problemas ambientais, sendo o aumento da poluição um deles. Segundo CGEE (2010), países com maior demanda energética, possuem maiores níveis de emissões de GEE. Ainda, a International Energy Agency (IEA) estima que o setor de energia aumentará suas emissões de CO<sub>2</sub> em 50% até 2030 e 80% até 2050 (IEA, 2009). De acordo com IPCC (2007), o aumento na concentração de GEE é proporcional ao aumento da temperatura média global e, conseqüentemente, outros problemas ambientais como degelo das calotas polares e elevação do nível do mar.

O aquecimento global vem crescendo de forma acelerada nas últimas décadas, levando vários países a adesão do Protocolo de Quioto<sup>1</sup>. Os regulamentos de emissão estão criando uma necessidade de combustíveis alternativos (CAMPEN *et al.* 2008). O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é uma das oportunidades para adequação às metas estabelecidas (BRASIL, 1999). Nesse sentido, o IEA vem reafirmando ao longo dos anos a

---

<sup>1</sup> O Protocolo de Quioto, em vigor desde 2005, estabelece medidas concretas contra o aquecimento global, baseadas na redução de emissão de GEE dos países industrializados em 5,2% em relação aos níveis do ano de 1990 (BRASIL, 1999). Em 2010, a meta do governo brasileiro era a redução das emissões de GEE em 39% até 2020.

necessidade de uma revolução no domínio da energia, baseada na implementação generalizada de tecnologias hipocarbônicas (IEA, 2010).

Nos últimos anos, já pode ser observada uma tendência crescente no uso de fontes de energia limpas e combustíveis alternativos (GASNET, 2010). Quando comparado o ano de 2014 com o de 2013, observa-se um aumento de 9% de energia renovável (IEA, 2014). Nesse contexto, o hidrogênio merece destaque.

O hidrogênio pode ser produzido a partir de qualquer matéria-prima (renováveis ou não) que tenha esse elemento em sua composição – já que não é encontrado sozinho na natureza (LAMTEC, 2014). Contudo, o gás hidrogênio ( $H_2$ ) não está presente na natureza em quantidades significativas sendo, portanto, um vetor energético<sup>2</sup>, ou seja, um armazenador de energia (CGEE, 2010).

O uso do hidrogênio como vetor energético e da célula a combustível<sup>3</sup> como a tecnologia desempenhada para transformar o hidrogênio em eletricidade são alternativas consideradas como uma ruptura no atual regime energético. Sendo assim, a eletricidade gerada se aplicaria tanto para a geração estacionária quanto para a veicular (AREAM, 2013), substituindo o uso direto das fontes fósseis e do motor a combustão.

A energia contida em 1,0 kg de hidrogênio corresponde à energia de 2,75 kg de gasolina (NETO, 2005). Santos e Santos (2005) afirmam que o hidrogênio é 2,5 vezes mais eficiente que a gasolina, mas devido à sua massa específica ( $0,0899 \text{ kgNm}^{-3}$  a  $0^\circ\text{C}$  e 1 atm), a energia de um litro de hidrogênio equivale à energia de 0,27 litro de gasolina (NETO, 2005). Nada obstante, o uso do hidrogênio como combustível está avançando, já sendo possível encontrar, inclusive, protótipos de carros movidos a hidrogênio nos países desenvolvidos (VOELCKER, 2013).

No país, a produção de hidrogênio a partir da reforma do gás natural é a fonte de insumo mais desenvolvida, segundo projeções do CGEE (2010). E, até a década de 2020, esta tende a ser a forma mais utilizada para produção energética não somente no Brasil como no mundo. Todavia, até o momento, essa energia ainda não é considerada de maior prioridade para o país (CGEE, 2010).

Apenas a título de comparação, no que concerne à produção de energia elétrica brasileira, tem-se que 70% da matriz é baseada em hidrelétricas, embora tal fonte tenha apresentado uma redução de 5,9% na comparação com o ano anterior, i.e., 2013 (BEN, 2014).

---

<sup>2</sup> É necessário ser extraído de uma fonte primária (renovável ou não) que o contenha, para sua utilização, energética ou não (LAMTEC, 2014).

<sup>3</sup> CaC

Além disso, em todo o mundo, o Brasil é o país com maior potencial hidrelétrico (ANEEL, 2009). Apesar de ser uma energia cujo custo operacional é baixo e não emitir poluentes (INATOMI E UDAETA, 2005), Fernandez e Pereira (2008) destacam os custos sociais que esse setor impõe à sociedade e que não são internalizados nas tarifas de energia elétricas.

O Brasil também convive com apagões constantes. De 2011 ao começo de 2014, o país registrou 181 apagões (SOUZA *et al.*, 2014). Para Maggi (2014), esse aumento da faixa de risco de apagões se deve ao baixo nível dos reservatórios das hidrelétricas e ao crescente consumo de energia elétrica, provocado pelas temperaturas elevadas do verão assim como a alta do poder aquisitivo da população. A fragilidade do sistema de abastecimento de eletricidade no Brasil é evidenciada pelo fato de que dos 10 maiores blecautes ocorridos no mundo a partir de 1999, dois foram no país. Para corroborar com esse cenário, o risco de déficit de energia no Brasil subiu de 18% (no ano passado) para 20%. Enquanto o aceitável seria um patamar de 5%.

A AGÊNCIA BRASIL (2014) afirmou que o custo médio da energia elétrica para a indústria brasileira subiu em 2014 de R\$ 292,75 por megawatt-hora (MWh) para R\$ 301,66 MWh, enquanto o custo médio internacional atinge R\$ 269,07 por MWh. Os diferentes custos observados dependem de fatores como a matriz energética de cada país, os custos da produção de energia, a forma como se está produzindo ou comprando energia e os impostos, entre outros.

Quanto ao consumo, segundo o Banco Mundial, o Brasil é 7º maior consumidor mundial de energia. De acordo com a EPE (TOLMASQUIM, 2012), o crescimento médio anual da demanda total de eletricidade será de 5,8% (classe comercial), seguida da classe residencial (4,3% ao ano) e da classe industrial (3,4% ao ano) ao longo da próxima década (2012-2022). Dessa forma, o consumo de eletricidade no Brasil vai aumentar, saindo de 514 Terawatt-hora (TWh) 781,7 terawatts-hora (TWh) em 2023 e para triplicar 1.624 TWh até 2050. É importante destacar que a economia de energia é um processo importante e que, além de reduzir o consumo, também é importante pensar em alternativas renováveis.

Existe, entretanto, a perspectiva de obtenção de energia elétrica através de processos de produção de hidrogênio utilizando fontes renováveis no país. O Roteiro para a Estruturação do Hidrogênio no Brasil, versão Beta – chamado aqui de “Roteiro beta” (BRASIL, 2005) afirmou que a quantidade de hidrogênio produzido no Brasil é suficiente para gerar mais de 2,4 TWh de eletricidade. Estima-se que a produção de hidrogênio para fins energéticos esteja em 5.000 m<sup>3</sup>/ano, consumida totalmente nos projetos de demonstração. A falta de demanda é

verificada no então desenvolvimento quase que somente de protótipos, porém, destinados a grupos de pesquisa.

Por ser o Brasil um país rico em recursos naturais, gerar hidrogênio a partir de fontes e tecnologias renováveis, seria viável ambientalmente, com menor emissão de GEE. Além do benefício ambiental, o uso do hidrogênio como energético pode ampliar a competitividade do país frente o mercado internacional e, por ser uma tecnologia nova, atrair investimentos para o setor (PATERNOSTRO, 2009).

Consolidando a opção do governo federal por um modelo de desenvolvimento sustentável, focado na competitividade do setor energético, é interessante para o país promover um plano que venha desenhar uma estratégia de apoio ao setor produtivo que privilegia esforços tecnológicos e inclui investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Uma agenda de pesquisa em torno da temática de produção de hidrogênio para fins energéticos vai ao encontro a essa necessidade, trazendo opções políticas no sentido de equilibrar as regras do mercado livre, com o intuito de apoiar e promover o desenvolvimento de um setor ligado à produção de hidrogênio para fins energéticos a partir de fontes renováveis.

Apesar do grande uso do gás natural para a produção de hidrogênio no Brasil, o etanol, a água e a biomassa são considerados importantes insumos na produção do hidrogênio, sendo citados no Roteiro Beta como quatro Marcos Globais (I, II, III e IV): etanol e biomassa (I), água (II), gás natural (III) e Processos Alternativos (IV), para a produção de hidrogênio. Contudo, mesmo que o hidrogênio seja apontado por diversos autores (FOSTER *et al.*, 2005; RIFKIN, 2003; SOUZA, 2009; SOUZA, 2012) como um componente-chave de um sistema energético limpo e sustentável, há a necessidade de tornar sua produção mais viável economicamente.

Tanto no Brasil, quanto no mundo, sob o ponto de vista comercial, não existe uma infraestrutura que contemple as atividades da cadeia produtiva do hidrogênio (i.e., como produção, estoque, transporte, distribuição e consumo final de hidrogênio energético). Ainda, o hidrogênio, por ser uma forma de combustível ainda insipiente, não fixada no mercado, possui uma demanda de difícil previsão, o que gera um alto grau de incerteza na definição das necessidades de capacidades futuras de sua rede logística. O futuro dessa cadeia e seu elevado grau de incerteza aumentam a complexidade de estudos usados para a análise, uma vez que é necessária uma grande quantidade de cenários para representar as incertezas reais do problema. Faz-se necessário, também, o envolvimento das esferas públicas e privadas, além dos avanços nas definições de regulamentações.

O progresso em tecnologias de hidrogênio tem sido promissor, pois esse vetor energético continua a ser uma opção importante para a descarbonização<sup>4</sup> a longo prazo de sistemas de energia e de transportes, podendo ser uma parte importante de uma transição acessível e viável para uma baixa emissão de carbono (NAKICENOVIC, 1999; MCDOWALL e EAMES, 2006), principalmente nos países com alta demanda energética.

Nesse sentido, para que o hidrogênio se torne competitivo depende principalmente de quatro fatores como: custo de hidrogênio no futuro, a taxa de avanços tecnológicos que utilizam hidrogênio, restrições no longo prazo sobre os gases de efeito estufa, e, finalmente, o custo dos sistemas de energia concorrentes (FORSEBERG, 2005). O debate é amplo e necessário, não apenas da comunidade científica, mas também dos políticos responsáveis pelas ações estratégicas e, empresários do setor.

As incertezas existentes em torno da possibilidade da economia do hidrogênio<sup>5</sup> levar a um novo regime energético, baseado em fontes renováveis, se deve, principalmente, a ausência de tecnologias que lhe conferem competitividade frente aos demais energéticos concorrentes e a escassez de estudos econômicos sobre o tema, ainda mais estudos sobre competitividade. Logo, o estudo, análise e compreensão das possibilidades de transição para um novo regime energético, podem gerar contribuições para o desenvolvimento da consolidação do hidrogênio energético na cadeia produtiva brasileira, justificando os esforços propostos no presente trabalho.

Dessa forma, a problemática da pesquisa gira em torno de como a cadeia produtiva do hidrogênio pode se tornar competitiva e quais são os fatores de competitividade que direcionam esse caminho. O trabalho tenta, portanto, compreender as possibilidades de transição para a Economia do Hidrogênio (E.H.).

## **1.1 Estrutura do Trabalho**

A estrutura dessa dissertação é composta de oito capítulos, além desta introdução e os objetivos estabelecidos para o trabalho. O terceiro capítulo apresenta os Aspectos Metodológicos da presente pesquisa. No quarto capítulo estão descritas, expostas e explicadas as teorias nos quais estão alicerçadas as pesquisas propostas neste trabalho. No quinto capítulo, dedicado às questões energéticas, traz um panorama do setor do hidrogênio no

---

<sup>4</sup> Entende-se por descarbonização a gradual substituição de fontes ricas em carbono por fontes de energia pobres em carbono (NAKICENOVIC, 1999).

<sup>5</sup> Economia do Hidrogênio: Expressão introduzida pela General Motors Co., em 1970, para denominar uma nova economia baseada no uso do hidrogênio como fonte de energia (vetor energético) (CAMARGO, 2004).

mundo e no Brasil. O sexto capítulo trata da política energética nacional e sua relação com a E.H. Este capítulo é dedicado as principais proporções de investimento do país a esta economia. Também nele são descritas as políticas e ministérios destinados ao investimento da cadeia produtiva do hidrogênio e investimentos em pesquisas e projetos, já em andamento no Brasil. O sétimo capítulo, dedicado aos resultados, traz a investigação e análise dos dados obtidos. No capítulo subsequente, serão apontados alguns fatores determinantes para o processo de transição para a E.H. no Brasil. Seguem ainda as recomendações para trabalhos futuros.

Em síntese, a dissertação está organizada da seguinte forma, conforme Figura 1:

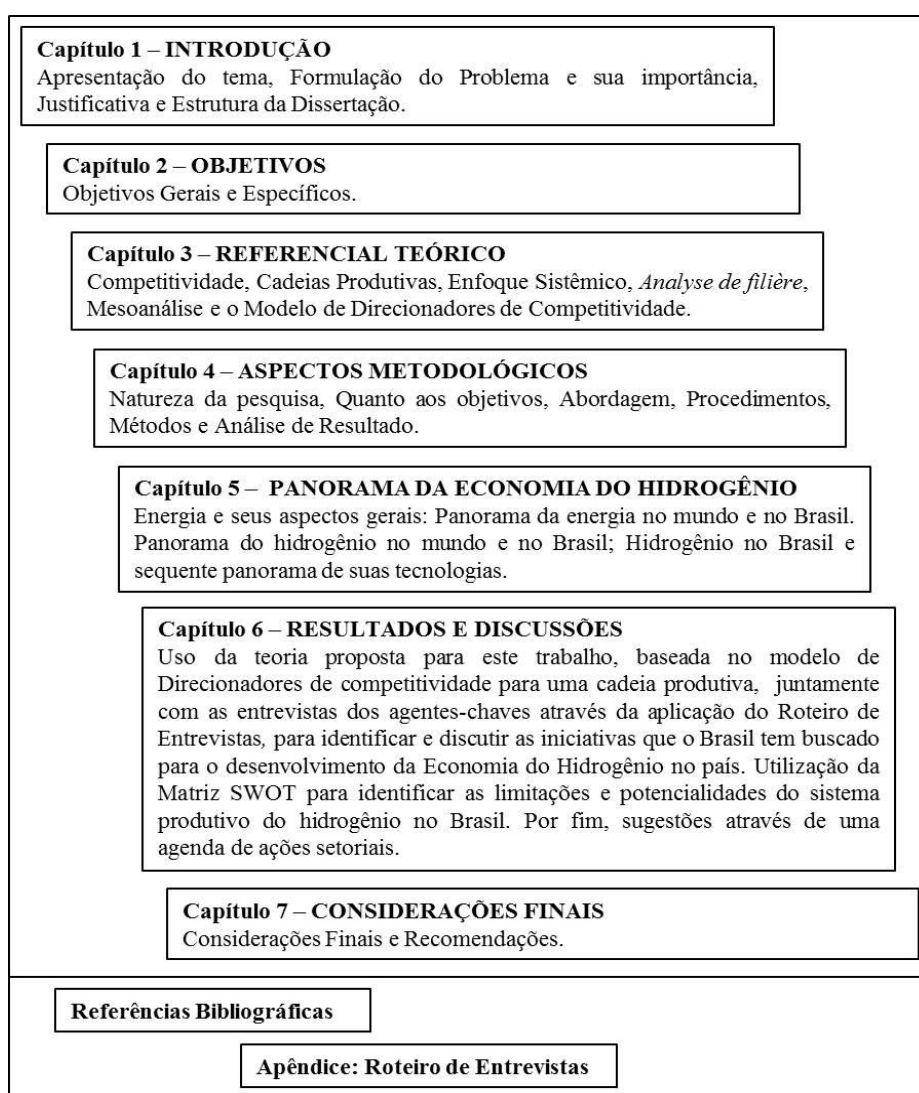


Figura 1: Estrutura da Dissertação



## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Analisar os direcionadores de competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil e propor uma agenda de trabalho setorial para essa cadeia produtiva.

### **Objetivos Específicos**

- Apresentar um panorama da cadeia produtiva do hidrogênio no Mundo e no Brasil;
- Identificar os fatores de competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio, com destaque as distintas tecnologias e insumos utilizados na sua produção;
- Identificar as oportunidades e ameaças a cadeia produtiva nacional do hidrogênio;
- Identificar os pontos forte e fracos relacionados a cada um dos fatores de competitividade da cadeia produtiva nacional do hidrogênio;
- Propor uma agenda de trabalho setorial, contendo ações estratégicas, enquanto políticas públicas e ações coletivas para o incremento da competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo deste capítulo é expor um conjunto de teorias necessárias para embasar essa dissertação. Para tal, o referencial teórico busca relacionar-se com cada conceito-chave tratado na pesquisa e como estão relacionados entre si, através da teoria adotada nessa pesquisa, para analisar a cadeia produtiva do hidrogênio como vetor energético e seu potencial de sobreviver e crescer em novos mercados ou mercados concorrentes.

Para melhor elucidar, o referencial teórico foi dividido em quatro partes, que apresentarão brevemente os conceitos que foram utilizados no desenvolvimento desta proposta, a saber: competitividade, cadeias produtivas, direcionadores de competitividade e, por fim, o modelo proposto para análise de competitividade de cadeia produtiva do hidrogênio.

#### 3.1 Competitividade

A competitividade é um termo amplo e bastante utilizado tanto para nações quanto para empresas. Existe uma preocupação dos países em analisar seu poder de competição internacional frente a um mercado sujeito a constantes mudanças (MARIOTTO, 1991). No Brasil, desde a década de 1990, a análise de competitividade tem sido um tema recorrente (RODRIGUES *et al.*, 2009) e debatido pelas empresas em função das profundas transformações que o setor primário, principalmente, vem passando (OAIGEN, 2010).

Não existe uma definição única para o termo competitividade, porém há consenso entre os pesquisadores sobre a sua importância (CÉSAR, 2009) e que este saiu da esfera empresarial permeando entre as cadeias produtivas, sistemas industriais e/ou agroindustriais específicos, passando a ser um termo global, de responsabilidade não só do governo, mas também das iniciativas privadas (RODRIGUES *et al.*, 2009).

No século XIX, uma discussão sobre o tema competitividade através do conceito de vantagem comparativa foi introduzida e, desde então, várias definições foram desenvolvidas com a finalidade de facilitar o entendimento da “competitividade” (CÉSAR, 2009).

Existem diversas definições, abordagens e ideias de competitividade, apesar de Porter (1990) afirmar que no contexto dos negócios empresariais a noção de competitividade é clara. O autor considera que a competitividade depende da capacidade dos setores industriais em inovar e modernizar. A competitividade de uma nação deve ir além do custo, criando vantagens em qualidade, qualificações e inovação de produtos, pois a competição é

dinâmica e evolutiva. Identifica a presença de fornecedores e distribuidores internacionalmente competitivos, como um dos elementos-chave na busca por vantagens competitivas.

Para Mariotto (1991), o termo “competitividade” é definido como algo aplicado tanto para as nações quanto para as empresas, sendo nessa última, concentrada a maior incidência das alusões. Já Müller (1994) afirma que esse termo pode assumir precisão e maior clareza para sua medição e avaliação, porém, quando usado, é semelhante a um mapa, com definições menos específicas e diversos caminhos a serem seguidos.

Em outro trabalho, Müller (2006) deduz que a movimentação desta terminologia sobre competitividade se dá pelos esforços de novos processos e relações estabelecidos pelas práticas sociais que se preocupam não só com os aspectos econômicos e técnicos, mas também, com os aspectos sociopolíticos e culturais da competitividade.

Ferraz *et al.* (1996) identifica duas vertentes da competitividade. Primeiramente, a competitividade é vista como um “desempenho” de uma empresa ou produto, também conhecida como competitividade revelada. O principal indicador de competitividade revelada estaria ligada à participação de um produto ou empresa em um determinado mercado (*market share*). A competitividade resultaria de estratégias individuais das firmas e não da ação coordenada e conjunta dos diversos componentes das cadeias produtivas. A definição do conceito de competitividade reflete diretamente para a escolha dos indicadores de desempenho (FARINA, 1999).

A competitividade ainda é referida como “eficiência” (competitividade potencial), sendo esta a segunda visão do conceito. Neste caso, trata-se de medir o potencial de competitividade de um dado setor ou empresa, que poderia ser realizado através da identificação e estudo das opções estratégicas adotadas pelos agentes econômicos frente às suas restrições gerenciais, financeiras, tecnológicas e organizacionais. Em relação ao conceito de competitividade estabelecido, nota-se uma relação causal entre a estratégia adotada pela empresa e eficiência de seu desempenho (CÉSAR, 2009).

Para Farina (1999), a competitividade não pode se definida precisamente, pois é difícil ter uma definição abrangente e útil, ao mesmo tempo. Porém, chega a defini-la, quanto às teorias da concorrência, como “a capacidade sustentável de sobreviver e, de preferência, crescer em mercados correntes ou novos mercados. A sustentabilidade implica em que essa posição seja consistente com a realização de lucros não negativos” (FARINA, 1999, p. 149). Dessa forma, a competitividade pode ser considerada como uma medida de desempenho das firmas individuais.

Ao considerar estas abordagens insuficientes, Ferraz *et al.*(1996) ainda define a competitividade de outra maneira, com foco no processo e não somente nos resultados alcançados, de um dado comportamento estratégico. Para o autor, a competitividade é considerada como “a capacidade da empresa formular e implementar estratégias concorrenciais que lhe permitam ampliar ou conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado” (COUTINHO e FERRAZ, 1995<sup>6</sup>, p. 18, *apud* SOUZA e ARICA, 2002). Tal definição permite à empresa ter estrutura para concorrer.

Definição semelhante à Coutinho e Ferraz sobre competitividade é apresentada por Batalha e Silva (1999) ao afirmar que o conceito de competitividade está associado à capacidade de um dado sistema produtivo obter, de forma sustentável, rentabilidade. Deve-se também manter-se no mercado, no âmbito interno e externo.

Jank e Nassar (2000) consideram a competitividade como a capacidade e competência de se sustentar e sobreviver, focando o crescimento nos novos, potenciais e atuais mercados. Neste contexto, pode-se encarar a competitividade como uma medida de desempenho para a empresa dentro de um espectro sistêmico.

Em síntese, o Quadro 1 apresenta algumas das principais definições de competitividade, apresentadas desde o final da década de 80, bem como seus respectivos autores.

Essas diferentes definições de competitividade demonstram a dificuldade de se encontrar uma definição que ofereça maior clareza e que possibilite conduzir com maior rigor analítico avaliações sobre o funcionamento dos mercados.

Entretanto, a dificuldade em encontrar uma definição precisa de competitividade (JANK e NASSAR, 2000; HAGUENAUER, 1989; FARINA, 1999) não pode constituir-se em uma fragilidade das teorias econômicas e da administração sobre a compreensão do desempenho ou da eficiência das empresas e das cadeias produtivas nos diferentes mercados.

---

<sup>6</sup> COUTINHO L., FERRAZ J. (1995) Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira. Papyrus, Rio de Janeiro.

Quadro 1: Definições de competitividade e autores.

<b>Autores</b>	<b>Definições de competitividade</b>
Haguenauer (1989, p. 13)	“[...] capacidade de uma indústria (ou empresa) produzir mercadorias com padrões de qualidade específicos, requeridos por mercados determinados, utilizando recursos em níveis iguais ou inferiores aos que prevalecem em indústrias semelhantes no resto do mundo, durante certo período de tempo”
Van Duren <i>et al.</i> (1991)	Competitividade é a habilidade sustentada de obter lucros e manter <i>market-share</i> nos mercados interno e externo
Kupfer (1993, p. 14)	“[...] adequação das estratégias das empresas individuais ao padrão da concorrência vigente no mercado específico.”
Müller (1994, p. 24)	“[...] conjunto de habilidades e de condições requeridas para o exercício da concorrência.”
Coutinho e Ferraz (1995, p. 18)	“[...] capacidade da empresa de formular e implementar estratégias concorrenciais, que lhe permitam conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado”
Zairi (1997)	É o resultado da habilidade em determinar, de forma inteligente, a capacidade de competir por meio de uma análise de pontos fortes e fracos e de um esforço contínuo para se antecipar as necessidades dos clientes. Isso ocorre quando o consumidor tem a palavra final no momento da compra.
Harrison e Kennedy (1997; 1998)	É a habilidade para criar e agregar valor a preços iguais ou menores que outros vendedores em um mercado específico.
Farina (1999)	Do ponto de vista das teorias da concorrência, a competitividade pode ser definida como a capacidade de sobreviver e, de preferência, crescer em mercados correntes ou novos mercados.
Perosa e Baiardi (1999, p. 78)	“[...] um atributo resultante de processo contínuo de adoção de inovações nas esferas tecnológicas, institucionais e organizacional, dotando determinado ramo da atividade econômica de poder de concorrência nos mercados externo e interno [...]”
Batalha e Silva (1999)	Competitividade é a habilidade de um dado sistema produtivo conseguir rentabilidade e se sustentar no mercado no âmbito interno e externo de maneira sustentada.
Jank e Nassar (2000, p. 140)	“Capacidade sustentável de sobreviver e, de preferência, crescer nos mercados correntes ou em novos mercados.”
Ambastha e Momaya (2004)	A competitividade pode ser considerada como fontes de competitividade divididas em três dimensões: ativos, processos e desempenho na gama do nível estratégico e operacional.

Fonte: Adaptado de Schultz e Walquil (2009).

Face ao exposto e tendo como premissa que o hidrogênio não é competitivo frente a outras energias no cenário atual, o foco dessa pesquisa se dá na tentativa de entender a competitividade dessa cadeia por meio de análise de direcionadores de competitividade, o que por sua vez, ajudará a compreender se essa energia pode se tornar competitiva e se puder, como alcançar a competitividade através de estratégias estabelecidas numa agenda de trabalho setorial. Logo, esta dissertação adotou a definição de competitividade defendida por Farina (1999) e Jank e Nassar (2000, p. 140), isto é, “[...] a competitividade pode ser definida como a

capacidade sustentável de sobreviver e, de preferência, crescer em mercados correntes ou novos mercados.”

### 3.2 Cadeias Produtivas e sua análise

A noção de cadeia vem sendo reavaliada à luz da noção de “rede” que é uma concepção vista como mais flexível ao mesmo tempo em que é mais articulada que a de mercado (MALUF *et al.*, 1999). Ainda, uma cadeia produtiva pode ser definida como um “conjunto de atividades que se articulam progressivamente desde os insumos básicos até o produto final. Nisso inclui distribuição e comercialização, constituindo-se em segmentos (elos) de uma corrente [...]” (BRASIL, 2002, p.2).

Além disso, o Brasil (*Op. Cit*) considera que o uso do conceito de cadeia produtiva permite, dentre outras possibilidades:

- a) visualizar a cadeia de modo integral;
- b) identificar debilidades e potencialidades nos elos;
- c) motivar articulação solidária dos elos;
- d) identificar gargalos, elos faltantes e estrangulamentos;
- e) identificar os elos dinâmicos, em adição à compreensão dos mercados, que trazem movimento às transações na cadeia produtiva.

Para o modelo *agribusiness*, por exemplo, o conceito de cadeias produtivas vai além de estudos teóricos podendo promover até mesmo a formulação de políticas públicas inovadoras. Segundo Goldberg<sup>7</sup> (1968) *apud* Pereira *et al.* (2008) um sistema agroindustrial engloba todos os agentes produtivos envolvidos com a produção, processamento e distribuição de um produto, sem prejuízo das instituições laterais de coordenação dos diversos estágios do produto, como órgãos governamentais, sindicatos, cooperativas e associações.

A análise sistêmica surgiu com o trabalho de Davis e Goldberg no final da década de 1950, a partir da necessidade de analisar profundamente as relações sistêmicas entre a agricultura e os segmentos decorrentes dela. Nesse trabalho, esses autores definem o termo *agribusiness* e destacaram que as relações de dependência entre as indústrias de insumos, produção agropecuária, indústria de alimentos e o sistema de distribuição não podem mais ser

---

<sup>7</sup> GOLDBERG, R. A. Coordenação Agronegócio. *Agribusiness Coordination*. Boston, Havard University, 1968.

ignorados. Esse enfoque teórico originou mais tarde o termo *Commodity System Approach* (CSA), ou seja, o enfoque sistêmico de produtos. Essa corrente metodológica estudou o comportamento de alguns sistemas e delimita o seu espaço analítico utilizando uma matéria-prima específica como ponto de partida para a construção da cadeia agroindustrial (BATALHA *et al.*, 2005).

Outro enfoque teórico sobre as relações industriais em cadeia também foi desenvolvido na França nos anos 1960. Este enfoque gerou o conceito de cadeias produtivas (*Analyse de filière*) aplicada ao estudo das organizações agroindustriais. Embora muito semelhante à discussão americana, essa teoria teve como ponto de partida de seus estudos o produto final por considerar a dinâmica do consumidor final sobre os ajudes dessa cadeia (BATALHA e SILVA, 2007).

A *Analyse de filière* ou cadeias de produção pode ser entendida como um conjunto de ideias com suposições teóricas oriundas da economia industrial (BATALHA e SILVA, 2007). Tem como principal objetivo aumentar a capacidade de competição de determinados atores em um mercado cada vez mais exigente e globalizado (GREEN e SANTOS, 1993 *apud* MALUF *et al.*, 1999).

Morvan<sup>8</sup> (1988) *apud* Figueiredo (2009) enumerou três elementos que estariam implicitamente vinculados às definições encontradas na literatura para a análise das *cadeias* de produção (*filière*), a saber:

- É também um conjunto de relações comerciais e financeiras que estabelecem, entre todos os estados de transformação, um fluxo de troca, situado de montante à jusante, entre fornecedores e clientes;
- É um conjunto de ações econômicas que presidem a valoração dos meios de produção e asseguram a articulação das operações;
- É uma sucessão de operações de transformação dissociáveis, capazes de serem separadas e ligadas entre si por um encadeamento técnico.

Batalha e Silva (2001), contudo, defendem que a lógica de encadeamento das operações através da análise de *Filière* deve situar-se sempre de jusante a montante. Nesse sentido, a cadeia agroindustrial deve ser decomposta em macro-segmentos (de jusante a montante, a saber, comércio, indústria, e produção de matéria-primas) para que a análise de competitividade seja realizada (BATALHA e SILVA, 2007).

---

<sup>8</sup> MORVAN, Y. Fondements d'économie industrielle. Paris: Economica, 1988.

Para Scalco (2004) a cadeia produtiva é segmentada de jusante a montante em três vieses, sendo descritos a seguir:

- Produção primária ou produção de matérias-primas: referente às empresas que produzem a matéria-prima e a fornecem para a agroindústria - a unidade processadora. Contempla os fornecedores de matérias-primas iniciais ao processo;
- Industrialização: referente às empresas que processam as matérias-primas (insumos) transformando-as em produtos finais - aptos para o consumo e
- Comercialização: referente às empresas responsáveis pela distribuição e pela colocação do produto a disposição do consumidor final, viabilizando o consumo. Representa os entes da cadeia.

Dessa forma, a cadeia produtiva é definida a partir da identificação do produto final que, após ser identificado, é encadeado pelas várias operações técnicas, comerciais e logísticas necessárias a sua produção, conforme Batalha (1997) e Zylbersztajn (1995) defendem. Pode ser visualizada através da análise do modelo teórico da Figura 2 definida por Batalha e Silva (2007) e adaptada por César (2012).

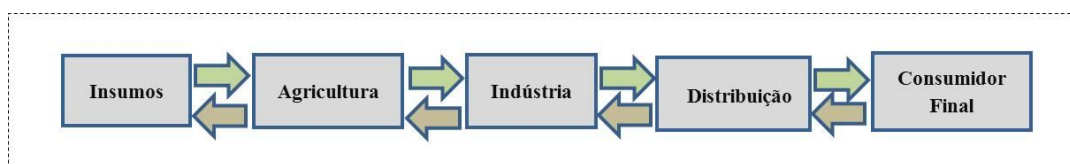


Figura 2: Cadeia Produtiva Agroindustrial.  
Fonte: Adaptado de César (2012).

Um processo de coordenação na sequência de operações produtivas é de fundamental importância. Batalha e Silva (2007) ressaltam que um conjunto de agentes é responsável por cada uma das etapas da produção e contribui com a sua parte para o desenvolvimento do produto final que atenda às necessidades do consumidor final. Já Farina e Zylbersztajn<sup>9</sup> (1993) *apud* Neves (1995) afirmam que agentes especializados executam funções relacionando-se diretamente com um ou mais agentes também ligados ao sistema. Nesse caso, a meta é a produção de produto ou serviço ao consumidor final, também chamado de "maestro" da cadeia.

A estrutura de análise da cadeia produtiva deve considerar ainda o enfoque sistêmico e o espaço da mesoanálise. A abordagem sistêmica tem sido um relevante tema de estudos destacando a importância de aprender de forma ampla o ambiente onde uma determinada organização se insere (CONEJERO, 2011). Nesse contexto, a análise sistêmica busca

<sup>9</sup> FARINA, E.M.M.Q., 1993. - Estudo de Caso FRUNORTE - PENSA 1992 in Estudos de Caso em Agronegócio Agribusiness - ZYLBERSZTAJN, D. *et al.*, Editora Ortiz, 229 p.



identificação de pontos-chave na sequência produção-consumo. Nesta sequência, ações podem melhorar a eficiência de um grande número de participantes e a atividade produtiva é vista como integrante de um sistema e passa a ser analisada de forma sistêmica. Ou seja, num sistema de produção estão encadeadas as atividades relacionadas com fornecimento de insumos e bens de produção, a própria produção, o processamento ou transformação, a distribuição e consumo e os serviços relacionados ao apoio destas atividades. A visão sistêmica no setor agroindustrial amplia o foco habitual no setor agrícola, por exemplo, para outros setores relacionados, como a indústria de insumos, processadores e distribuidores, cujo propósito é o atendimento das exigências dos consumidores finais (JANK e NASSAR, 2000).

Staatz (1997) *apud* Batalha e Silva (2007) observa que o enfoque sistêmico da produção agroindustrial é guiado por cinco conceitos-chave:

a) Verticalidade: Noção sistemática básica que significa que as condições em um estágio num subsistema deverão ser fortemente influenciadas pelas condições em outros estágios na cadeia vertical, ou seja, existe uma interatividade entre os elos.

b) Demanda efetiva: É vista pela análise por subsistema como a pressão por informações que puxa bens e serviços através do sistema vertical o que quer dizer que é ela que determina os fluxos de produto e serviço.

c) Coordenação dentro dos canais (cadeias): Analisa quão bem o mercado atual, contratos, integração vertical e outros tipos de arranjos harmonizam e coordenam as atividades dos diferentes atores do subsistema, ou seja, o fluxo de informações claras entre os elos são determinantes.

d) Coordenação entre canais (sistemas): Um dado subsistema pode envolver mais do que um canal de comercialização (exportação e mercado interno). A análise por subsistema tenta entender a competição entre canais, estabelece medidas a fim de entender a competição, e melhorar o desempenho de cada canal de comercialização e examina como ela pode ser modificada para alcançar um melhor desempenho econômico.

e) Alavancagem: Promove a eficácia dos elos. Particularmente onde um grande número de pequenas firmas está envolvido, identifica oportunidades, em função da evolução da cadeia no tempo e espaço de análise, podendo ser muito custoso desenvolver ações públicas que pretendem ajudar cada firma individualmente.

Um sistema é um conjunto de elementos interdependentes que se interagem por meio de uma rede de relações funcionais dinâmicas e que buscam um propósito ou um objetivo (SILVA e BATALHA, 1999). As alterações ocorridas dentro e fora dos sistemas permitem uma evolução do sistema no espaço e no tempo (BATALHA e SILVA, 2007). Essa

abordagem ajuda a entender fatores que afetam os critérios de desempenho global, podendo tais fatores estar presentes em quaisquer dos atores de um sistema, ou seja, um problema aparentemente presente em um componente pode ter sua origem ou causa em outro componente participante do mesmo sistema. Neste contexto, há uma melhor visualização de todo o encadeamento de operações e relações num determinado sistema agroindustrial.

A partir dos estudos relacionando ao enfoque sistêmico de produtos, fica claro que as pesquisas referentes ao agronegócio necessitam de uma mesoanálise, ou seja, de uma visão global que considere todos os parâmetros e elementos constituintes de um dado sistema em questão.

Batalha e Silva (2001; 2007) afirmam que a mesoanálise pode ser definida como a análise estrutural e funcional dos subsistemas e de suas interdependências dentro de um sistema integrado, está entre a teoria econômica clássica, sendo proposta para explicar o funcionamento entre a microeconomia (produtor, empresa, consumidor, etc.) e a macroeconomia (estado, investidores externos, etc.).

Face ao exposto sobre competitividade, a mesoanálise da cadeia de produção torna-se importante por envolver uma visão mais abrangente, que analisa os relacionamentos com seus fornecedores e toda a cadeia à montante de sua operação, assim como a relação com seus clientes e toda a cadeia à jusante. Dessa forma há uma melhor compreensão da posição competitiva de um agente, sendo possível identificar e delimitar tanto as possibilidades e oportunidades quanto problemas e gargalos que se apresentam para uma empresa.

Nesse contexto a competitividade de uma cadeia produtiva necessita de uma análise dos ambientes internos e externos a fim de expor os gargalos e ameaças que sustentam um mercado para que a cadeia possa se imergir em um novo setor. Desse modo, um enfoque mesoanalítico permite preencher essa lacuna, pois considera tanto as atividades internas das firmas, quanto o ambiente no qual estas se inserem, sem tirar do foco principal a forma como interagem.

Verifica-se, a partir do enfoque mesoanalítico, a existência e a emergente necessidade de consideração do contexto mesoanalítico da competitividade empresarial e regional. Tal cenário de análise deverá ser centrado na abordagem da cadeia produtiva estudada. Desta forma, qualquer pesquisa referente a uma cadeia produtiva necessita de uma abordagem holística, de uma mesoanálise, ou seja, de uma visão global que considere parâmetros e elementos constituintes de um dado sistema em questão. Ficariam explícitos entre os agentes econômicos, o processo de concorrência e as opções estratégicas das empresas, o que representa uma interação entre os elos da economia.

Ainda é relevante considerar, em termos de mesoanálise da competitividade empresarial de uma cadeia produtiva, a avaliação da cadeia produtiva em estudo perante sua concorrência, observando-se o que foi anteriormente exposto, a conjugação das análises do desempenho competitivo e dos direcionadores competitivos. A mesoanálise é, então, “a análise estrutural e funcional dos subsistemas e de sua interdependência dentro de um sistema integrado” (BATALHA, 1997, p.36), e caracteriza-se por estar localizado em um dado ambiente, cumprir uma função ou exercer uma atividade, ser dotado de estrutura dinâmica e ter objetivos definidos. Desta forma, obtêm-se informações consistentes para um dado grau de competitividade frente às cadeias concorrentes.

Para Shono *et al.* (2011), a vantagem competitiva pode ser descrita como a vantagem que uma empresa possui em relação aos seus concorrentes, procurando mostrar a forma como a estratégia escolhida e seguida pela organização pode determinar e sustentar o seu sucesso competitivo (ZENONE, 2007), obtendo assim maior destaque no mercado. Nesse sentido, conhecer a fundo as estratégias dos seus concorrentes é importante para ganhar vantagem competitiva (CARNEIRO, 2015).

Quando o objetivo é vencer seus concorrentes através de uma vantagem competitiva, deve-se buscar oportunidades além das percebidas pelos concorrentes, mantendo-se diferenciada das demais no decorrer do tempo (ZMOGINSKI *et al.*, 2009), e se estabelece o raciocínio estratégico (DUTRA *et al.*, 2008). Shono *et al.* (2011) afirmam que a superação dos concorrentes se dá através do uso de estratégias, de forma sustentável. Adicionalmente, Ghemawat<sup>10</sup> (2007, p.60) *apud* Zmoginski *et al.* (2009), defende que uma empresa mostra que "criou vantagem competitiva sobre seus rivais se ela criou uma distância maior que seus concorrentes entre a disposição a pagar dos clientes e seu custo de produção". Zenone (2007) ainda afirma que no cenário competitivo, além da informação e da tecnologia, as empresas devem desenvolver estratégias mais adequadas às exigências do mercado, como na figura 3.

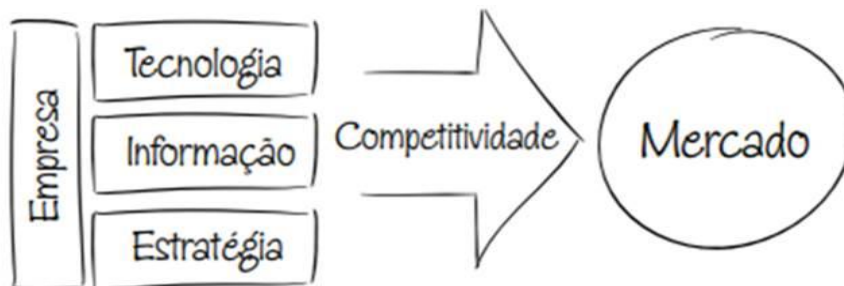


Figura 3: Exigências para a competitividade no mercado.  
Fonte: Zenone (2007)

<sup>10</sup> GHEMAWAT, P. A estratégia e o cenário dos negócios: texto e casos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

No setor de energia elétrica, o mercado brasileiro tornou-se um setor desverticalizado em sua cadeia produtiva, fazendo com que geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica se tornassem áreas de negócio independentes. Apesar do modelo brasileiro de geração de energia elétrica é essencialmente hidrelétrico, existem diversas fontes de energia que podem ser utilizadas para atender à necessidade de expansão da oferta no Brasil. Contudo, as empresas que buscam estratégias para oferecer alternativas energéticas enfrentam um custo de geração não competitivo quando comparadas com a energia gerada das hidrelétricas (CPFL, 2014).

O hidrogênio usado como vetor energético é uma maneira ainda incipiente para se obter/ofertar energia. Existem, atualmente, vários métodos industriais disponíveis para a produção de hidrogênio, porém quase todo o hidrogênio produzido no mundo de hoje envolve a reforma a vapor de combustíveis fósseis, principalmente o gás natural, usando catalisador de níquel. Neste momento, esta é uma comprovada tecnologia comercial e é de longe a forma menos custosa de fazer hidrogênio em grande escala (UNEP, 2006). Além disso, os demais métodos de produção de hidrogênio são caros em comparação ao custo de fornecer a mesma quantidade de energia com as formas convencionais de energia.

Os sistemas de distribuição e armazenamento que seriam necessários para fornecer hidrogênio em um em grande escala são também muito mais custosos. Para baixar suficientemente os custos da produção, distribuição e armazenamento do hidrogênio ao ponto de torná-lo um concorrente viável para combustíveis existentes exigirá importantes avanços tecnológicos (UNEP, 2006).

Nesse contexto, para que as empresas que oferecem alternativas energéticas possam superar seus concorrentes, devem desenvolver uma posição de vantagem competitiva no mercado. O planejamento estratégico competitivo é uma ferramenta que auxilia a desenhar os caminhos para que as empresas possam atingir seus objetivos, além de facilitar a gestão e a tomada de decisões. O planejamento estratégico mostra-se essencial também ao encarar todas mudanças no ambiente de negócios internacional (NEVES, 2008).

A análise SWOT (*Strengths; Weaknesses; Opportunitties; Threats*) é uma das ferramentas de planejamento para suportar análises estratégicas, sendo concebida através de conceitos e conhecimentos teóricos, além de ter seu aprimoramento durante a aplicação prática com informações e experiências cotidianas das empresas que podem ser absorvidas e discutidas academicamente (ROSSI, 2008). Esta dissertação usa a análise SWOT como

ferramenta para auxiliar na análise estratégica da cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil frente a seus concorrentes energéticos.

Dornelas (2001) afirma que a análise SWOT apenas delinea uma análise da situação atual do negócio. Nesse sentido, dependendo da velocidade com que seu ambiente, seu setor e sua própria empresa mudam, a matriz deve ser refeita regularmente. A análise SWOT, portanto, é fundamental para avançar na proposição de políticas públicas e privadas que resultem em cadeias produtivas agroindustriais mais competitivas.

A análise SWOT pode ser representada pela construção de uma matriz, dividida em quatro partes. A análise da matriz SWOT ou FOFA é uma ferramenta de gestão que pode ser usada na elaboração do Planejamento Estratégico da empresa e sua sigla é originada da junção das palavras *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças). Sua matriz demonstra a análise dos ambientes externo e interno da empresa e sua representação segue na Figura 4.





	INTERNO	EXTERNO
+	 Pontos Fortes (Forças)	 Oportunidades
-	 Pontos Fracos (Fraquezas)	 Ameaças

Figura 4: Matriz SWOT.  
Fonte: Adaptado de Dornelas (2001).

Logo, o estudo da análise sistêmica, primeiramente evidenciada por Davis e Goldberg (2007)<sup>11</sup>, com posterior contribuições de Zylbersztajn (1995), Farina *et al.* (1997)<sup>12</sup> (*apud* FARINA, 1999) e Neves (2008) tem associado cada vez mais o impacto da coordenação à competitividade do sistema (CONEJERO, 2011).

Portanto, a definição sobre competitividade defendida por Farina (1999) e Jank e Nassar (2000) e adotada nesse trabalho para a cadeia em questão, assunto da seção anterior, justifica-se por considerar a sobrevivência desse vetor energético nos mercados frente aos concorrentes, podendo ampliar sua atuação no mercado atual ou em novos mercados. Dessa

<sup>11</sup> DAVIS, J. H; GOLDBERG, R. A. A concept of agribusiness. Boston: Harvard University. 1957. 135 p.

<sup>12</sup> FARINA, E.M.M.Q.; AZEVEDO, P.F.; SAES, M.S.M.. Competitividade: Mercado, Estado e Organizações. Ed. Singular, SP, 1997.

forma, sua sobrevivência reside no plano concorrencial e não ao conceito de rentabilidade (defendida por outros autores) onde a produção de hidrogênio precisaria ser rentável para sobreviver no mercado, não adiantando apenas o consumidor querê-la.

### **3.3 Direcionadores e indicadores de competitividade - um modelo de análise da competitividade de sistemas agroindustriais**

Existe um conjunto de fatores que determinam a competitividade de um sistema: a disponibilidade de insumos, as condições macroeconômicas, os programas setoriais, a política tributária, a legislação e a fiscalização, a gestão interna das empresas, a infraestrutura de armazenagem e transportes, as estruturas de governança, a estrutura de mercado, entre outros. Esses fatores, também chamados de direcionadores de competitividade, podem referir-se a um segmento específico da cadeia ou ao seu ambiente institucional. A somatória dos efeitos dos diferentes fatores influencia sobre a cadeia de produção, resultando em certo desempenho competitivo (KAKIMOTO e SOUZA FILHO, 2013).

Esta seção apresenta o modelo de análise de competitividade de cadeias produtivas tomando por base a noção de direcionadores de competitividade proposta por Van Duren *et al.* (1991), Silva e Batalha (2000), Silva e Souza Filho (2007) e Batalha e Souza Filho (2009).

A análise da competitividade é importante porque visa identificar a estruturação da cadeia e possíveis gargalos assim como seus respectivos contornos. A análise de competitividade é uma ferramenta que se baseia na metodologia proposta pela FAO (*Guidelines for rapid appraisals of agrifood chain performance in developing countries*) que segue as seguintes etapas para sua execução (SILVA e SOUZA, 2007):

- 1) definição dos objetivos;
- 2) delimitação da cadeia de produção e planejamento da pesquisa;
- 3) coleta de informações (dados secundários e primários);
- 4) análises das informações;
- 5) estruturação dos relatórios.

A Figura 5 apresenta como direcionadores de competitividade contribuem para a competitividade potencial e a competitividade revelada de uma cadeia produtiva agroindustrial. Dentre os direcionadores que determinam a competitividade potencial, os autores consideraram nesses estudos: Tecnologia; Insumos e Infraestrutura; Gestão; Ambiente Institucional; Estrutura de Mercado e Estrutura de Governança.

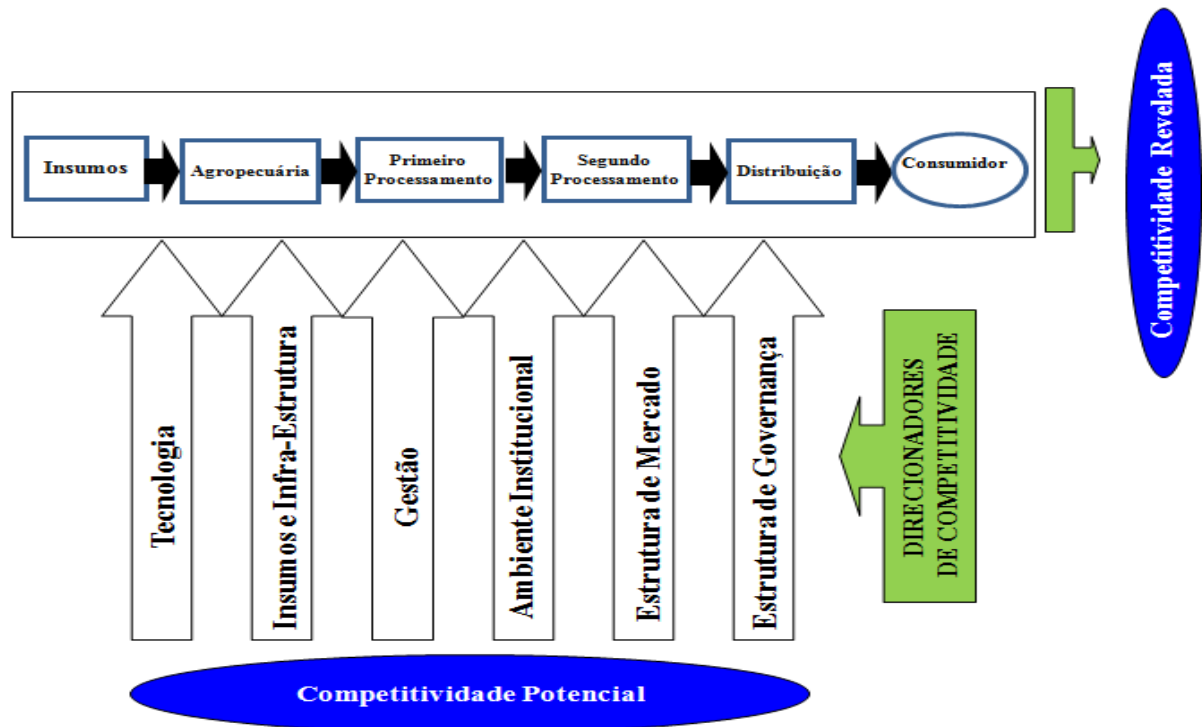


Figura 5: O modelo de Direcionadores de competitividade potencial e o espaço de análise.  
 Fonte: Adaptado de Silva e Souza Filho (2007) e Batalha e Souza Filho (2009).

Observa-se que o modelo dos direcionadores da competitividade visualiza as atividades agropecuárias como parte de um sistema mais amplo, com a avaliação da interdependência entre os agentes (elos) envolvidos – e suas interações nos diversos níveis - e não apenas como sendo a mera soma das partes de um todo. Nesse sentido, quanto mais agentes competitivos a cadeia apresentar, maior será sua vantagem competitiva.

Portanto, o levantamento dos direcionadores se faz importante para um direcionamento de estratégias peculiares, com foco nas vantagens competitivas. O “olhar sistêmico” sobre o conjunto de elos da cadeia produtiva é importante, pois, identifica e avalia os padrões de interação e as relações de interdependência entre os agentes que impactam a competitividade do sistema (cadeia produtiva) como um todo. Dentro de uma cadeia produtiva, os direcionadores permitem que os fatores determinantes desta sejam identificados, assim como a melhor forma da empresa atuar no mercado (MELZ e SOUZA FILHO, 2011).

### 3.4 Modelo proposto para análise de competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio

Este trabalho se dedica à teoria dos direcionadores para determinar a competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio. Para tal, foram selecionados alguns dos direcionadores propostos por Silva e Souza Filho (2007) e Batalha e Souza Filho (2009) para serem definidos

e posteriormente (nas seções seguintes) estudados e investigados, a saber: Tecnologia, Insumos Infraestrutura, Gestão, Estrutura de Mercado, Ambiente Institucional, Estrutura de Governança. Dessa forma, o modelo proposto para a análise de competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio (elucidado na Figura 6) é uma proposta de um modelo adaptado de César (2012) para analisar a competitividade da cadeia do hidrogênio.

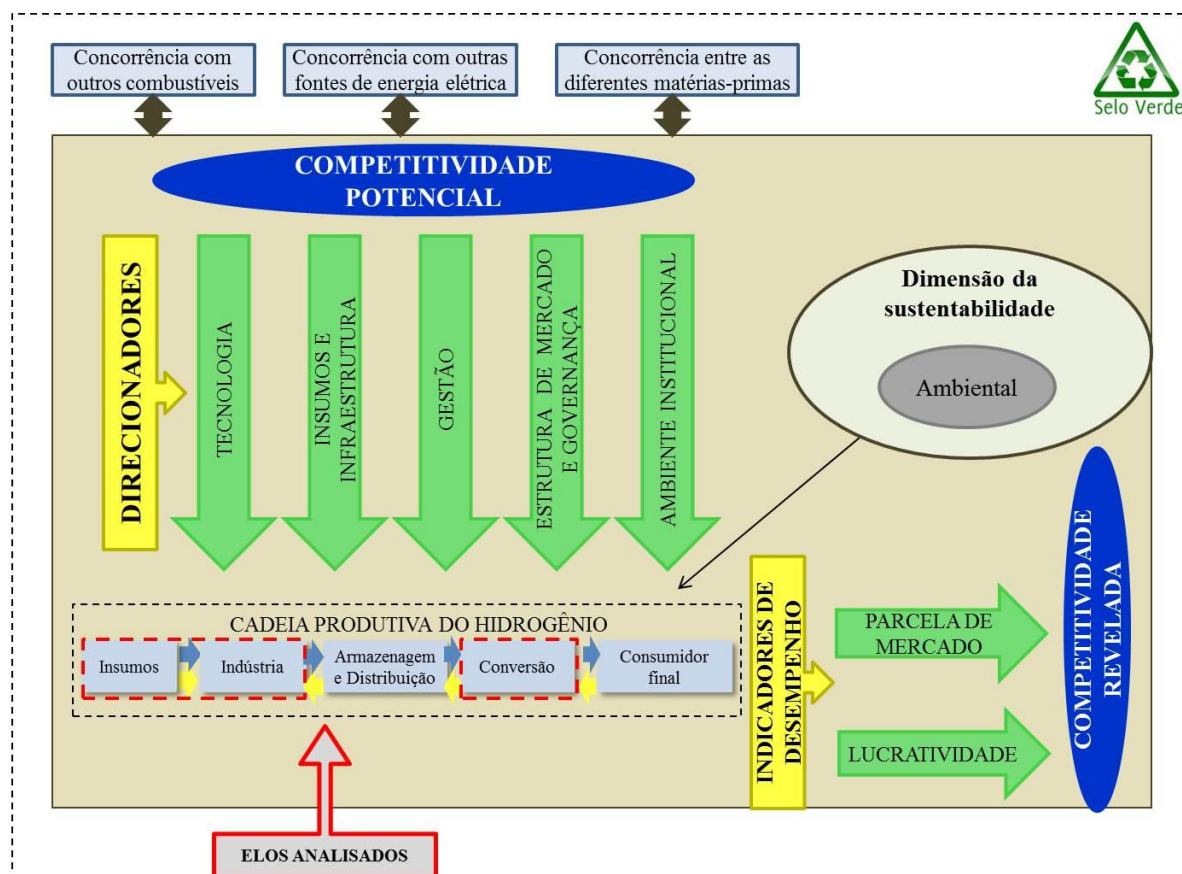


Figura 6: O modelo proposto para a análise de competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio.  
Fonte: Adaptado de César (2012)

A análise de cada um desses direcionadores previamente selecionados representados graficamente no modelo proposto pelas setas, anteriormente citados, fornecerá uma base para a análise de toda a cadeia produtiva do hidrogênio, a partir dos fatores selecionados para estudo. Cada um destes direcionadores possui características intrínsecas que serão descritas sucintamente neste trabalho a seguir.

### 3.4.1 Tecnologia

A tecnologia corresponde ao organizado conjunto de todos os conhecimentos que venham a ser empregados na produção e comercialização de bens e serviços (MATTOS e



GUIMARÃES, 2005), sendo, portanto um dos eixos principais que direcionam a competitividade de uma cadeia.

Para Stall<sup>13</sup> (2007) *apud* Ferreira (2011), o processo de inovação tecnológica das empresas é influenciado por meio de novas pesquisas e desenvolvimentos de produtos e processos. Entretanto, as empresas e instituições envolvidas devem buscar maximizar os reflexos potenciais que pesquisa e inovação tecnológica geram na competitividade de uma cadeia.

Quando um sistema industrial desenvolve e obtém novos padrões tecnológicos torna-se capaz de aumentar (maximizar) sua produtividade, melhorar a qualidade, agregando valor ao produto e reduz (minimizar) seus custos. Essas pesquisas inovadoras atraem o interesse e crescem continuamente em vários setores no país, inclusive o setor energético.

Batalha e Silva (1999) dividem a tecnologia pela capacidade de inovação tanto na indústria de transformação quanto na produção e o apoio público e privado (aos órgãos e universidades que atuam na difusão de tecnologias-chaves na P&D). Batalha e Souza Filho (2009) apresentaram alguns indicadores para compor o direcionador tecnologia, compreendendo indicadores de difusão e geração tecnológica e de rendimento, procurando demonstrar sua eficácia.

Considerando o hidrogênio como vetor energético, o estudo dos fatores de suas tecnologias mostrará os pontos fortes e fracos de suas principais rotas e processos produtivos, principalmente sobre o atual processo produtivo de hidrogênio de maior relevância no mundo: reforma a vapor do gás natural. O estudo das tecnologias mostra também as pesquisas e desenvolvimento no setor envolvendo possíveis rotas que usem matérias-primas alternativas e processos independentes de combustíveis fósseis.

### **3.4.2 Insumos e Infraestrutura**

Os custos e a oferta das principais matérias-primas afetam diretamente a competitividade das cadeias (BATALHA e SOUZA FILHO, 2009). Também, os insumos – ou fatores de produção utilizados para obter bens – destinam-se à satisfação das necessidades dos consumidores. Sendo assim, os agentes econômicos de uma cadeia produtiva necessitam

---

<sup>13</sup> STALL, E. Inovação tecnológica, sistemas nacionais de inovação e estímulos governamentais à inovação. In: MOREIRA, D. A.; QUEIROZ, A.C. (Coord.). **Inovação organizacional e tecnológica**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. P. 24-53.

planejar o uso dos fatores de produção racionalmente com o objetivo de melhor obter resultados em termos de qualidade e quantidade.

Esse direcionador é analisado através da soma dos elementos que vão desde a disponibilidade doméstica ou nível de dependência dos produtores em relação aos fornecedores até o preço dos principais insumos, a saber, terra, trabalho e maquinário (BATALHA e SOUZA FILHO, 2009).

Batalha e Souza Filho (2009) consideram Insumos e Infraestrutura como um único direcionador e apresentam alguns indicadores para compor este direcionador para análise da competitividade potencial e revelada, tais como: produção interna, importação, exportação, consumo doméstico, preços, custo de mão-de-obra, preço da terra, disponibilidade da terra, custo total da produção e custo total do produto final. No entanto, o custo, a qualidade e quantidade dos insumos dependem de fatores externos (dependência externa) que terão variações de acordo com a cadeia produtiva ou sistema agroindustrial analisado.

Esse direcionador estuda a qualidade das matérias-primas no processo produtivo do hidrogênio. No Brasil, os quatro insumos considerados de maior potencial são: gás natural, água, biomassa e etanol. Nesse item serão analisados os pontos forte e fracos entre os tipos de insumos existentes e respectivas tecnologias relacionadas.

A infraestrutura cria condições favoráveis no desenvolvimento de empresas, indústrias e empregos (BENITEZ, 1999). As variáveis relacionadas à “armazenagem e transporte” admitem a avaliação da infraestrutura ligada à cadeia no país. Dessa forma, custos elevados de transporte e armazenagem podem tornar inviável a inserção competitiva de produtos no mercado internacional (BATALHA e SOUZA FILHO, 2009).

Para Ferraz *et al.* (1996) os determinantes de infraestrutura de maior influência sobre a competitividade referem-se à oferta de transporte, energia e telecomunicações. Portanto, a disponibilidade de um abastecimento de energia confiável a custos reduzidos tem forte influência sobre os custos de todo o sistema industrial, além da competitividade externa das empresas locais.

No que se remete a esse trabalho, o estudo da infraestrutura pretende analisar a disponibilidade das matérias-primas no país, ou seja, o quanto o Brasil possui potencial para produção do hidrogênio frente as matérias-primas que possui e/ou produz, além de trazer as condições de armazenamento e transporte de hidrogênio e potenciais investimentos nesse elo da cadeia.

### **3.4.3 Gestão**

A gestão corresponde à competência exigida pelos tomadores de decisão para interpretar a complexidade técnica ao longo do sistema produtivo e sua complexidade socioeconômica (VELTZ e ZARIFIAN, 1994).

Este direcionador identifica quais são as principais ferramentas de gestão com forte impacto sobre a competitividade das empresas de uma cadeia em particular (BATALHA e SOUZA FILHO, 2009).

De forma geral, as organizações necessitam de um conjunto de capacidades e ferramentas de gestão para competir com sucesso em um cenário globalizado. Nesse contexto, BATALHA e SOUZA FILHO (2009) analisam que as empresas respondem as rápidas mudanças do mercado quando incorporam ferramentas de gestão. O uso destas ferramentas traz benefícios como identificar gargalos, tomar decisões, construir estratégias, reduzir custos etc.. É necessário, entretanto, identificar o nível de difusão destas ferramentas ao nível dos diferentes elos de cada cadeia. Os autores sugerem indicadores de competitividade ligados à gestão empresarial que identificam o nível de difusão destas ferramentas sendo: qualidade, certificação, planejamento, controle de custos e etc..

Logo, a competitividade das empresas ou do sistema em que ela se encontra inserido depende da habilidade e capacidade de gestão nas suas relações com fornecedores e clientes, no desenvolvimento conjunto de produtos, na troca de informações tecnológicas, nos fluxos de entregas que minimizam estoques, na garantia assegurada de qualidade, estabilidade nos contratos etc.

Nesse direcionador, o foco para a cadeia do hidrogênio no país será o custo de produção, os recursos humanos e/ou mão-de-obra qualificada, além da certificação e normatização das empresas envolvidas na produção de hidrogênio, rumo à E.H. no país.

### **3.4.4 Estrutura de Mercado e Governança**

A estrutura de mercado e governança permitem a identificação de vários elementos de competitividade potencial, visto que a competição e/ou cooperação entre as empresas ou etapas da mesma cadeia tem relação direta com os abastecimentos, preços, difusões de inovações tecnológicas (IT), eficiência da produção e alcance de economia de escalas (Batalha e Souza Filho, 2009).

Mendes e Padilha Junior (2007) caracterizam a estrutura de mercado como as características organizacionais de um determinado mercado, que influenciam o tipo de concorrência e a formação de preços, com a finalidade de definir as relações entre compradores, entre vendedores e entre compradores e vendedores.

Batalha e Souza Filho (2009) destacam alguns indicadores do direcionador “estrutura de mercado” tais como: número de firmas, nível de concentração, capacidade de produção, tamanho médio das empresas produtoras, diferenciação dos produtos vindos da cadeia, entre outros. Para os autores, esses indicadores permitem trazer informações da cadeia relativas a esse direcionador, inclusive identificando o nível de competição – vertical ou horizontal – existente entre os agentes (elos) da cadeia. Os fatores considerados no direcionador estrutura de mercado para a análise da cadeia produtiva do hidrogênio são: escala de produção, nível de concentração de mercado e tecnologia comprovada.

A governança influencia o ambiente institucional e o indivíduo. O ambiente institucional influencia na governança e por meio dos arranjos de governança influencia nas estratégias sobre o ambiente institucional. Dessa forma, a eficiência e a competitividade das empresas são influenciadas pelas características das transações, dos agentes que são regidos pelo ambiente institucional, sendo necessário identificar as variáveis que determinam as formas internas e as relações entre as organizações.

Existem dois níveis de articulação possíveis entre os agentes da cadeia – coordenação vertical e horizontal. A coordenação vertical é o primeiro nível e diz respeito aos agentes de distintos elos que compõe a cadeia. A operacionalização de uma empresa é coordenada por estruturas de governança (integração vertical, mercado spot, arranjos contratuais etc.) em seu gerenciamento de transações no mercado. O segundo nível de articulação refere-se à coordenação horizontal. Essa coordenação está ligada a organizações de representação dos agentes que estabelecem ações articuladas de interesse comum que possam promover políticas de caráter público ou privado em benefício do sistema (BATALHA e SOUZA FILHO, 2009).

Portanto, para o alcance da competitividade as empresas devem ter capacidade para adotar estruturas de governança que reduzam custos de transação, melhorem sua articulação de produção e estabeleça condições de competitividade de forma sistêmica. Uma forma de analisar isso na cadeia produtiva do hidrogênio é traçando os pontos fortes e fracos ao que compreende as organizações setoriais e as parcerias estabelecidas para promover a E.H..

### 3.4.5 Ambiente Institucional

Este direcionador tem como propósito auxiliar na avaliação da competitividade de uma cadeia produtiva e contribuir na teoria de políticas públicas e/ou privadas para minimizar as dificuldades e potencializar as vantagens competitivas empresariais.

Saes<sup>14</sup> (2005) *apud* Batalha e Silva (2007) diz que as regras estabelecidas na sociedade limitam o comportamento dos indivíduos. Tais regras criam uma estrutura capaz de interagir esses indivíduos com o ambiente político, social e econômico. São as instituições que estabelecerão o ambiente no qual as transações ocorrerão. Nesse caso, a estrutura de incentivos e controles capazes de levar os indivíduos a cooperar é formada.

Através de acessos e recursos em condições especiais, os programas e políticas governamentais podem reduzir ou mesmo atenuar os impactos negativos oriundos do ambiente macroeconômico. O governo ainda pode limitar, ou mesmo barrar, antecipadamente a entrada no setor por meio de controles, tais como concessões e licenças especiais, e restringir o acesso a matérias-primas (PORTER, 1999).

Podem ser citados como indicadores deste direcionador: condições especiais de crédito, assistência técnica, fundos para investimentos, suprimentos de insumos, entre outros (BATALHA e SOUZA FILHO, 2009). A análise destes indicadores é importante para a compreensão do ambiente institucional das organizações com o objetivo de adaptar às mudanças institucionais e adequar às estratégias num ambiente competitivamente forte.

No que diz respeito à cadeia produtiva do hidrogênio, o estudo de fatores como programas e políticas setoriais e fatores macroeconômicos nesse direcionador apontam para uma análise dos pontos fortes e fracos do apoio legal e formas de incentivo do governo brasileiro nesse setor.

### 3.4.6 Resumo dos direcionadores

Os direcionadores analisados na cadeia proposta neste trabalho e representados na Figura 5 são analisados através dos indicadores descritos no Quadro 2.

---

<sup>14</sup> SAES, M. S. M. Organizações e Instituições. In: ZYLBERSTAJN, D.; NEVES, M. F. (Orgs.). Economia e Gestão dos Negócios Agroalimentares: indústria de insumos, produção agropecuária, distribuição. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

Quadro 2: Direcionadores e indicadores propostos para a cadeia produtiva do hidrogênio.

Item	Direcionadores	Fatores (Indicadores)
1	Tecnologia	(T1) Investimento em Pesquisa e Desenvolvimento; (T2) Disposição de patentes; (T3) Difusão de tecnologias-chaves; (T4) Número de estações experimentais; (T5) Produtividade (quando comparada a alguma tecnologia substituta); (T6) Maturidade tecnológica; (T7) CaC.
2	Insumos e Infraestrutura	(I1) Disponibilidade de insumos (nacionalmente e internacionalmente); (I2) Qualidade dos insumos e suas diferenças; (I3) Preço dos insumos; (I4) Transporte e armazenagem; (I5) Outros: Energia, Temperatura, catalisadores.
3	Gestão	(G1) Custo de Produção; (G2) Recursos Humanos qualificados (mão de obra qualificada); (G3) Certificação e Normatização.
4	Estrutura de Mercado e Governança	(EM1) Tempo de atuação da empresa/industria; (EM2) Numero de firmas; (EM3) Nível de Concentração (concorrência) de Mercado; (EM4) Escala de Produção; (EM5) Disponibilidade comercial do H2 no mercado (tecnologia comprovada); (EM6) Condições logísticas; (EG1) Parcerias e contratos; (EG2) Organizações Setoriais; (EG3) Relações com: indústria, pesquisa, governo e empresas de CaC.
5	Ambiente Institucional	(AI1) Linhas de créditos e incentivos fiscais; (AI2) Programas e políticas Setoriais.

Os direcionadores e indicadores de competitividade apresentados nesta seção e o estudo da teoria e modelos propostos anteriormente, permitirão uma análise das cadeias produtivas selecionadas para estudo, capaz de ser compreendida através de uma Matriz SWOT, adequada e melhor elaborada a partir dos conceitos e orientações.

#### 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Um dos aspectos mais importantes de uma pesquisa é a coerência entre os objetivos propostos e os métodos utilizados no seu desenvolvimento e na execução. Para tal, um caminho que o pesquisador pode seguir é classificando sua pesquisa quanto à forma de abordagem do problema, dos objetivos, dos procedimentos técnicos e a sua natureza (GIL, 2002).

Ainda, segundo o autor, a metodologia da pesquisa busca esclarecer ao leitor os métodos e técnicas empregados em uma pesquisa. Através dela pode-se fazer um desenho da pesquisa apresentando todas as etapas realizadas durante o desenvolvimento do trabalho, como: a coleta das informações publicadas, a definição do caso estudado, a definição das empresas entrevistadas, o questionário, a aplicação das entrevistas, a sistematização e a análise dos resultados.

Para Jung (2010), a análise da metodologia de pesquisa deve ser iniciada com uma classificação da pesquisa. O pesquisador deve optar por um tipo de pesquisa através da análise da sua natureza, objetivo, abordagem e procedimento, para então definir o melhor método para a coleta de dados para a execução da pesquisa. A Figura 7 apresenta um fluxograma da classificação de pesquisa proposta pelo autor.

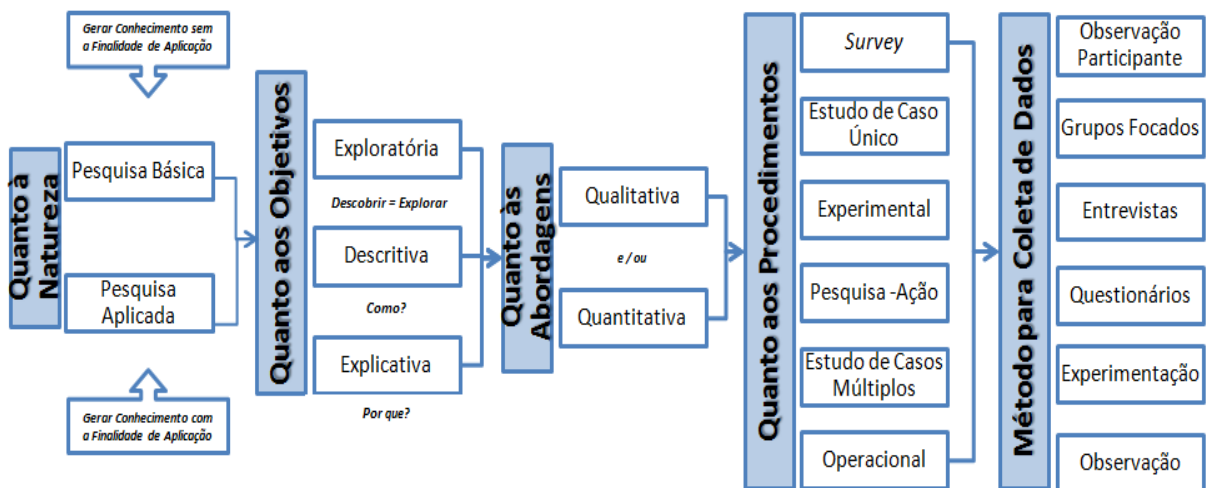


Figura 7: Fluxograma de classificação de uma pesquisa.  
Fonte: Adaptado de Jung (2010).

Neste capítulo, será tratada a classificação da pesquisa onde, de forma sucinta, está classificada de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3: Classificação da pesquisa.

CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	
Natureza da pesquisa	Pesquisa Aplicada
Objetivos	Pesquisa Exploratória
Abordagem	Pesquisa Qualitativa
Procedimentos	Estudo de caso
Métodos	Entrevistas semi-estruturadas.

#### 4.1 Natureza da pesquisa

De acordo com a sua natureza, Jung (2010) comenta que uma pesquisa pode ser caracterizada por Básica ou Aplicada. A pesquisa aplicada operacionaliza as ideias para solucionar problemas determinados e específicos, com um objetivo prático. Para tal, usa a pesquisa básica como suporte (SOUZA *et al.*, 2013) e os conhecimentos gerados pelas tecnologias existentes. Sua principal função é originar novos conhecimentos com aplicações práticas, como produtos e/ou processos, com finalidades imediatas.

Para Jung (2010), uma pesquisa aplicada reúne três características principais:

- ✓ Obter conhecimento para aperfeiçoar produtos ou processos;
- ✓ Obter um modelo para a construção de um protótipo;
- ✓ Produzir novos conhecimentos de métodos.

Este trabalho utilizou-se da pesquisa aplicada por propor a inovação do conhecimento em cadeias produtivas imaturas e/ou em desenvolvimento no país, através de proposta e uso métodos que permitam a investigação a respeito do tem, bem como sua aplicação no setor estudado.

#### 4.2 Objetivos da pesquisa

De acordo com André (2005), é o momento em que o pesquisador entra em contato com a situação a ser investigada pra definir o caso, confirmar ou não as questões iniciais, estabelecer os contatos, localizar os sujeitos e definir os procedimentos e instrumentos de coleta de dados. De acordo com o objetivo, uma pesquisa pode ser classificada e caracterizada em exploratória, descritiva ou explicativa (JUNG, 2010).

Esta é uma pesquisa de caráter exploratório e descritiva. Uma pesquisa exploratória é aquela que visa à descoberta de fenômenos, ou a melhoria de processos. Tem por finalidade a



descoberta de práticas ou diretrizes que precisam ser modificadas e obtenção de alternativas ao conhecimento científico existente (JUNG, 2010).

Para Gil (2002, p.41) a “pesquisa exploratória”

“Tem a finalidade de ampliar o conhecimento a respeito de um determinado fenômeno. Segundo o autor, esse tipo de pesquisa, aparentemente simples, explora a realidade buscando maior conhecimento, para depois planejar uma pesquisa descritiva.”

A pesquisa descritiva visa observar, registrar e analisar os fenômenos sem, entretanto, entrar no mérito do seu conteúdo. Basicamente consiste na coleta de dados através de um levantamento. Neste tipo de pesquisa, não há interferência do pesquisador. Este procura descobrir a forma e frequência com que o evento acontece, apenas descrevendo suas características (JUNG, 2010).

Nessa dissertação, o critério descritivo apresenta, de forma detalhada, os direcionadores de competitividade (insumos, tecnologia, gestão, estrutura de produção, ambiente institucional e relações de mercado), analisando-os como pontos fortes ou fracos e, portanto, se ajudam ou prejudicam a competitividade da cadeia produtiva.

### **4.3 Abordagem da pesquisa**

Quanto à forma de abordagem do problema, podem existir duas abordagens: Qualitativa ou Quantitativa e até mesmo as duas simultaneamente (JUNG, 2010). A pesquisa qualitativa usa a subjetividade que não pode ser traduzida em números. É mais descritiva. Já o estudo quantitativo é mais direcional, correlaciona variáveis independentes e dependentes (CRESWELL, 1997).

Ainda, segundo a perspectiva do mesmo autor, em uma pesquisa qualitativa prevalece a participação do pesquisador no processo, o raciocínio dialético, ou seja, uma interpretação dinâmica da realidade, o raciocínio indutivo, onde o conhecimento da realidade concreta é fundamentado na experiência, questões norteadoras. A abordagem qualitativa abrange um conceito mais amplo, mais aberto, descritivo e não-direcional.

Esta é uma pesquisa de abordagem qualitativa, por ter a proposta de estudar um fenômeno amplo e complexo, investigando os principais agentes da cadeia em estudo para se obter uma visão ampla desse segmento. Nesse contexto, o uso da pesquisa qualitativa na dissertação apresenta a competitividade de forma clara e direta, indicando em que grau esta se apresenta. Dessa forma, o diagnóstico de cada direcionador de competitividade, apresentado

na forma de quadro ao longo do texto, a partir da utilização do critério descritivo, pode ser transformado em índices qualitativos (PEREZ, 2003).

#### **4.4 Procedimentos da Pesquisa**

Existem vários tipos de técnicas que podem ser adotadas em função das necessidades práticas do método de trabalho da pesquisa. O estudo de caso é uma delas. Trata-se de investigação especialmente adequada quando se procura compreender, explorar ou descrever acontecimentos e contextos complexos, nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores.

Yin (1994) define “estudo de caso” com base nas características do fenômeno em estudo e com base num conjunto de características associadas ao processo de recolha de dados e às estratégias de análise dos mesmos. Para Coutinho e Chaves (2002) quase tudo pode ser um “caso”: um indivíduo, um personagem, um pequeno grupo, uma organização, uma comunidade ou mesmo uma nação.

Para Yin (1994), o estudo de caso pode ser único ou múltiplo. As evidências de casos múltiplos são mais fortes em comparação as evidências de caso único e são importantes para estabelecer inter-relações entre variáveis. Essa é uma pesquisa de caso único - a cadeia produtiva do hidrogênio - e investiga vários agentes inseridos na cadeia em estudo, permitindo ao pesquisador amplo conhecimento sobre o fenômeno em estudo.

#### **4.5 Método para Coleta de Dados da Pesquisa**

Segundo Neves e Conejero (2012), definir um bom instrumento de coleta de dados é imprescindível para fazer bom uso na aplicação do método de estudo de caso. Os autores defendem também a necessidade de uma condução semiestruturada nas entrevistas em profundidade com os agentes, a fim de que o pesquisador possa moldar a teoria conforme avançam as entrevistas.

Logo, para atingir seus objetivos por meio da análise de dados provenientes do estudo de caso, o instrumento escolhido para coleta de dados foi um roteiro de entrevistas, previamente estruturado, usado nas entrevistas em profundidade. O roteiro continha questões abertas, permitindo ao entrevistado adicionar informações importantes para o problema da análise. Além disso, alguns preferiram colaborar dando sua opinião de forma mais geral, não se atendo ao roteiro propriamente dito.

A escolha dos direcionadores e de seus fatores foi realizada através de revisão bibliográfica, ficando, porém, aberta a complementação durante o processo de coleta de dados.

O roteiro de entrevistas, previamente estruturado, encontra-se no Apêndice 1 dessa dissertação e foi aplicado nas “entrevistas em profundidade” cujas pessoas selecionadas (agentes chaves) deveriam está inseridas nos seguintes elos da cadeia: agente do governo, agente da indústria, agente de universidade/centro de pesquisas e agentes de empresas. Os agentes chaves consultados e/ou entrevistados, seus cargos, justificativa por ser entrevistado e período das entrevistas estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Especificações das entrevistas.

Agentes Chaves	Cargos	Justificativa	Período	Tipo de Agente
A1	Coordenador do Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP (LH2), secretário executivo do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH) e professor da Universidade Estadual de Campinas.	Experiência nas áreas de Física e Engenharia Mecânica, com ênfase em aproveitamento de fontes renováveis de energia, geração distribuída e em sistemas isolados, atuando principalmente nos seguintes temas: hidrogênio, CaC, energia, energia elétrica e fontes renováveis.	Maio/2015	Agente de universidade/ centro de pesquisa
A2	Engenheiro e responsável pela produção de hidrogênio da empresa White Martins.	Produção e comercialização de hidrogênio.	Dezembro/2014	Agente setor privado (indústria./ empresas)
A3	Diretor de Planejamento, Gestão e Meio Ambiente na empresa ELETRONUCLEAR	Participou de um grupo de trabalho com o tema hidrogênio no Instituto de Engenharia de São Paulo. Trabalha na área de energia.	Janeiro/2015	Agente setor público (indústria./ empresas)
A4	Doutora em Engenharia Química e Pesquisadora.	Pesquisa e desenvolvimento em hidrogênio a partir de gás natural, etanol e biomassa no laboratório LabTeCh e autora de dois livros sobre produção de hidrogênio usados na bibliografia deste trabalho.	Abril/2015	Agente de universidade/ centro de pesquisa
A5	Doutor em Ciências pelo Instituto de Física da Unicamp sendo Pesquisador sênior do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) de 1994 a 2010.	Foi operador das Atividades do Roteiro versão Beta e ex-diretor de operações do LACTEC.	Março/2015	Agente de universidade/ centro de pesquisa
A6	Reitor da Unimonte e presidente do Conselho de Administração da Anima Educação.	Ex-presidente da Embraer (Fundador), Petrobras e Varig. Também ocupou o Ministério da Infraestrutura. Defensor e pesquisador de carro a célula de hidrogênio extraído do etanol.	Abril/2015	Agente de universidade/ centro de pesquisa
A7	Professor e economista	Trabalhos sobre economia do hidrogênio e na área energética.	Fevereiro/2015	Agente de universidade/ centro de pesquisa
A8	Coordenadoria de Desenvolvimentos Tecnológicos Setoriais	Coordenadora do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2) do MCTI.	Maio/2015	Agente governamental
A8	Presidente executivo da NOVOCELL	Venda de Componentes que fazem parte de geradores de CaC.	Março/2015	Agente setor privado (indústria./ empresas)
A10	Químico e Professor/Doutor - Pesquisador	Trabalha no Centro de CaC e hidrogênio (IPEN/SP)	Março/2015	Agente de universidade/ centro de pesquisa
A11	Sócio da empresa ELETROCELL	Venda de CaC.	Abril/2015	Agente setor privado (indústria./ empresas)

Os agentes-chaves escolhidos para as entrevistas e colaborações com sugestões e indicações foram os pesquisadores, empresários, economista, engenheiros envolvidos na produção e coordenadores de grupos de trabalho e do programa PROH2. Alguns optaram apenas em colaborar com sugestões e indicações. Essas entrevistas foram realizadas no período compreendido entre dezembro de 2014 a abril de 2015.

Nesse sentido, o presente trabalho se propõe a descrever como as ações nacionais estão transcorrendo desde a criação do programa PROH2 e a publicação do Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil, versão Beta. Dessa forma, para entender como o Brasil está se posicionando em termos de tecnologia, gestão, insumos, infraestrutura, mercado, governança e ambiente institucional, em relação à E.H., foram coletados dados primários através de entrevistas semi-estruturadas, sendo possível perceber como as instituições são influenciadas e/ou influenciam o fomento a construção da E.H..

#### **4.6 Análise dos dados**

A análise de dados foi realizada após a coleta dos mesmos por meio de revisão bibliográfica e realização das entrevistas, através da aplicação do roteiro de entrevistas e “entrevistas por profundidade”. Ou seja, para se obter os resultados do estudo, foi necessário fazer uma revisão cíclica entre o referencial teórico e a pesquisa de campo. Esta análise contribuiu para a confecção de uma matriz SWOT e para a elaboração de estratégias no setor.

##### **4.6.1 Matriz SWOT**

Através da revisão da literatura foi possível traçar um panorama do setor, construindo uma visão abrangente e não pontual. As oportunidades e ameaças levantadas no panorama vieram da comparação do hidrogênio com outras fontes energéticas e da E.H no Brasil frente a E.H. no mundo. Já os pontos fortes e fracos levantados nos resultados nasceram dos direcionadores de competitividade. As entrevistas permitirão a construção da SWOT e, posteriormente, a matriz SWOT cruzada para a confecção da agenda estratégica.

#### **4.7 Estruturação de Desenvolvimento da Pesquisa**

Primeiramente, a fim de buscar maiores informações e embasamento teórico partiu-se de uma revisão teórica sobre a E.H. no país. Histórico, segurança energética, investimento

destinado ao desenvolvimento tecnológico, meio ambiente, estratégia nacionais, políticas públicas foram alguns dos enfoques pesquisados.

No âmbito internacional, foram consultados documentos e artigos publicados sobre os insumos e/ou tecnologias usadas na produção de hidrogênio. No âmbito nacional, *sites* de ministérios como o Ministério de Minas e Energia (MME), o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e Ministério do Meio Ambiente (MMA) além do INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial). Documentos como o Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil, o Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio e o Hidrogênio Energético no Brasil – Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025 foram consultados a fim de mostrar maior consistência a partir da revisão bibliográfica e atingir alguns dos objetivos específicos propostos como, por exemplo, fazer o levantamento dos direcionadores e descrever o mercado de hidrogênio no Brasil.

Toda a revisão bibliográfica contribuiu sobremaneira para o levantamento de um pré-diagnóstico do setor estudado e, conseqüentemente, nesse caso, dos insumos escolhidos para análise. A apuração final da análise bibliográfica e documental resultou em uma discussão preliminar de cada direcionador e uma análise SWOT baseada da análise teórica de cada cadeia estudada.

A partir destes dados, os 11 (onze) agentes-chaves escolhidos atuam em algum dos elos da cadeia como os representantes de indústrias produtoras de hidrogênio no Brasil, pesquisadores da área e membros de ministérios. O roteiro de entrevistas aplicado a estes agentes contem perguntas que foram classificadas de acordo com o tema norteador (direcionador) e é do tipo semiestruturado.

Considerando o exposto nesse capítulo e nessas seções, e o caráter flexível que se caracteriza a metodologia de pesquisa, as etapas de investigação e o fluxograma de atividades do presente estudo obedeceu a ordem descrita na Figura 8.

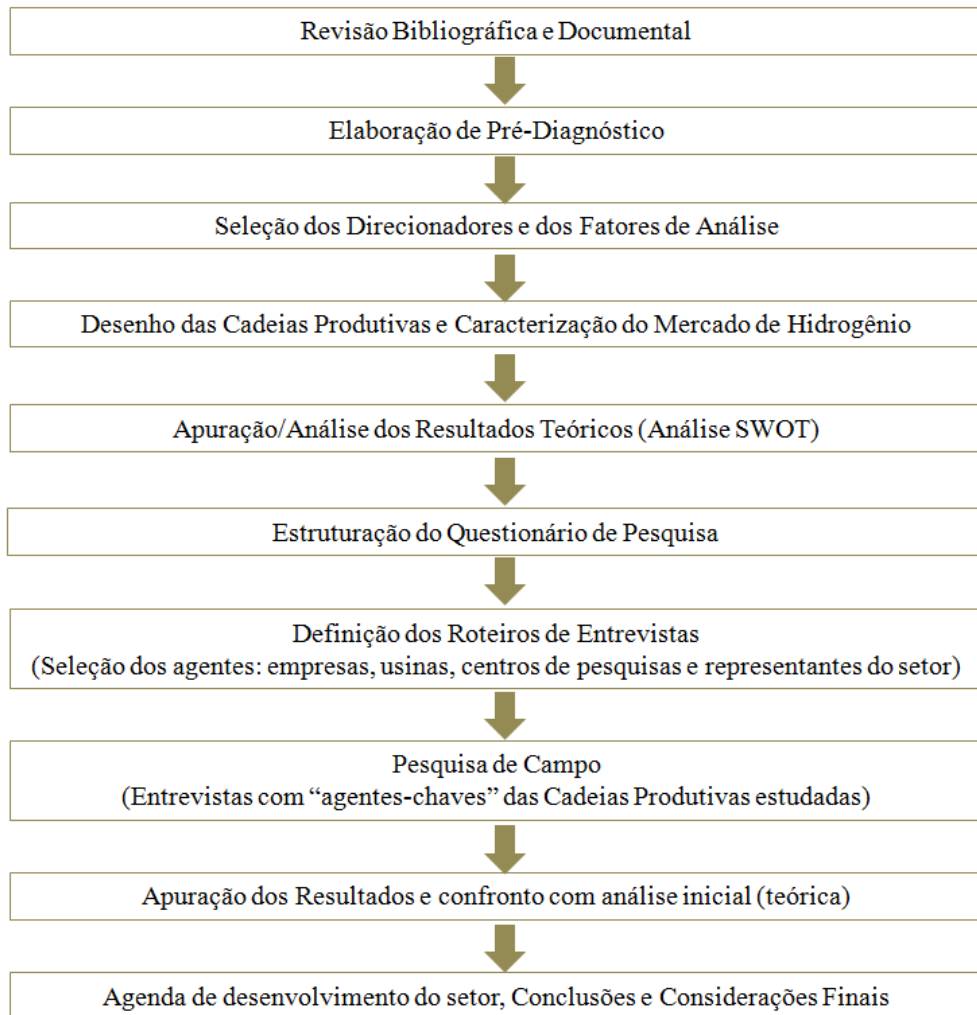


Figura 8: Estrutura de Desenvolvimento da Pesquisa.

## 5. PANORAMA DA ECONOMIA DO HIDROGÊNIO

Este capítulo aborda a produção de energia a partir do hidrogênio. Para melhor compreensão do tema, o mesmo foi dividido em três seções. A primeira seção descreve o atual sistema energético, apresentando as opções energéticas vigentes frente ao hidrogênio como vetor energético. A segunda seção apresenta o panorama internacional e nacional da E.H. No âmbito internacional foram consultados os documentos elaborados pela *International Energy Agency* (IEA) e pela *International Partnership for Hydrogen Economy* (IPHE), além de estudos prospectivos para o futuro regime energético. No que se refere ao Brasil, é apresentada sua participação na E.H. e os programas e propostas consideradas pelos ministérios. A terceira seção expõe as tecnologias de produção de hidrogênio, a partir dos vários insumos, destacando a cadeia produtiva que será analisada com mais profundidade nesse trabalho.

### 5.1 Panorama da energia no mundo e no Brasil

Grandes investimentos em energias limpas e renováveis têm sido feitos mundialmente e dentre elas destacam-se: a energia solar, eólica, biocombustíveis, ondas marítimas, geotermia e termonuclear. Os biocombustíveis, assim como a obtenção de energia através de geradores eólicos e células fotovoltaicas, são considerados promissores quanto à geração de energia elétrica e veicular (EUROPEAN COMMISSION, 2012).

De acordo com o Relatório de Status Global de Energia Renovável 2010 (*Renewable Energy Network for the 21st Century - REN21, 2010*), os principais motivos para gerar eletricidade através de fontes de energia renováveis são: o alto índice de emissão de poluentes por parte da geração de eletricidade através de combustíveis fósseis (Tabela 1); o esgotamento das fontes de combustíveis fósseis não renováveis; e a preocupação da população com as gerações futuras. Cresce, portanto, a importância no uso e suas projeções para as próximas décadas (Figura 9), justificando também a tendência crescente por usinas geradoras de eletricidade a partir de fontes de energia renovável.

Tabela 1: Comparação de emissão de CO<sub>2</sub> por tipo de combustível.

COMBUSTÍVEL		Emissão de CO <sub>2</sub> eq ton/GWh		
		Min.	Max.	Méd.
Fóssil	Carvão (Fóssil)	1062,0	1372,0	1217,0
	Carvão (Pedra)	130,0	1085,0	607,5
	Óleo	657,0	866,0	761,5
	Gás Natural	245,0	499,0	372,0
Renovável	Solar (Fotovoltaico)	12,5	104,0	58,3
	Hidro (com reservatório)	3,5	120,0	61,8
	Hidro (represa de rio)	4,0	33,0	18,5
	Restos de Madeira	-667,0	49,0	-309,0
	Eólica (em terra)	6,9	22,0	14,5
	Eólica (em mar)	9,1	22,0	15,6
Nuclear	Nuclear	3,0	40,0	21,5

Fonte: World Energy Council (2013).

## Uso total de energia

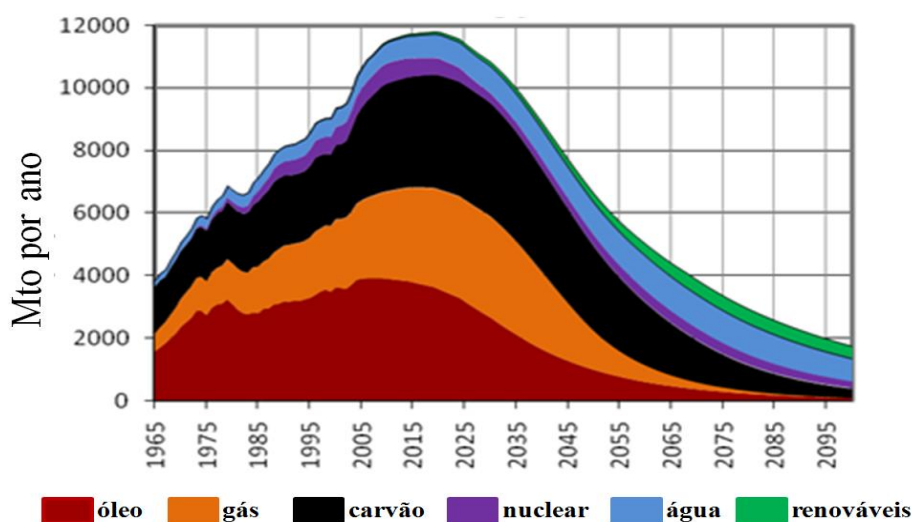


Figura 9: Projeção para o uso de fontes de energia.

Fonte: Chafurka (2007).

Nesse sentido, a oferta de energia solar fotovoltaica no mundo aumentou mais de 50%, entre 2006 e 2011, com um valor de 67GW produzidos em 2011. Ainda, a capacidade de geração de energia eólica subiu de 18GW, em 2000, para 238 GW em 2011 e sua taxa de crescimento anual foi maior que 25% de 2006 a 2011. Já o biocombustível, além de responder por 3% do combustível para transporte no mundo e 25% no Brasil, atingiu o montante de 100 bilhões de litros produzidos em 2010 (IEA, 2013a). Contudo, os investimentos em fontes de energia renováveis ainda não conseguiram alterar o padrão mundial – o uso de combustíveis fósseis (IEA, 2013b).



O atual regime energético fundamenta-se, em sua maioria, nos combustíveis fósseis para a geração de energia estacionária e veicular (ROHRICH, 2008). Na indústria – setor com grande consumo de energia -, os principais insumos energéticos usados por ela no mundo são o petróleo, o gás natural e o carvão (GOLDEMBERG e LUCON, 2008). Esses insumos têm apresentado elevadas taxas de crescimento do consumo devido a sua utilização como fonte de energia. Segundo projeções da EIA (2013), o consumo mundial de energia crescerá em 56% até 2040.

Os combustíveis fósseis tem suprido as necessidades energéticas da sociedade desde o século XVIII até os dias atuais. Na ultima década (entre 2000 e 2013), a demanda de energia cresceu 38% e foi acompanhada do crescimento do consumo das fontes fósseis na mesma proporção (3%). Os combustíveis fósseis suprem mais de 80% do total da matriz energética mundial, sendo o petróleo (31,5 %) a fonte mais empregada, seguido pelo carvão mineral (29%) e pelo gás natural (21,3%) (Figura 10).

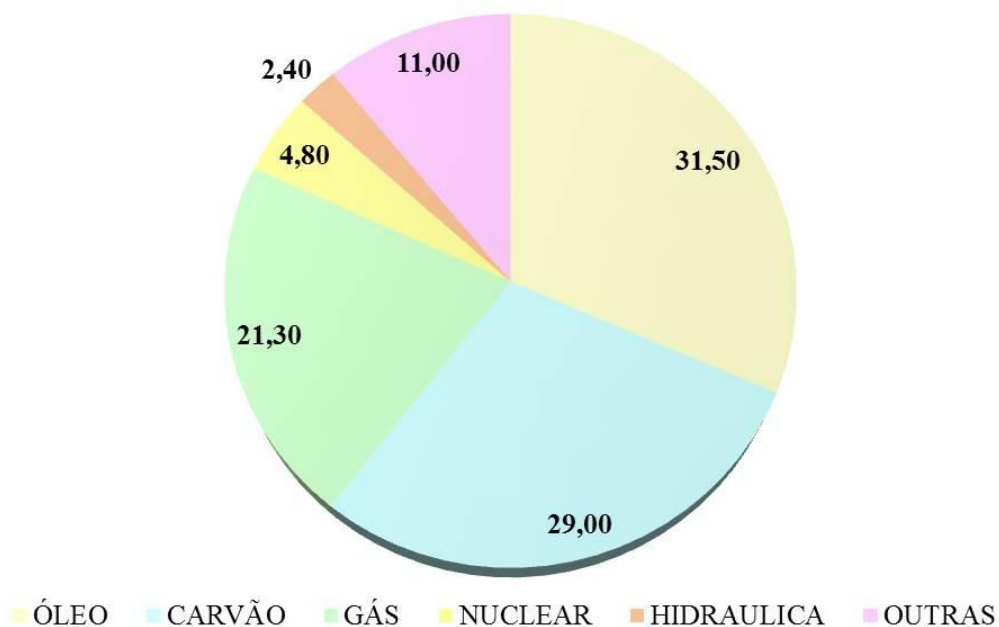


Figura 10: Matriz energética mundial em 2013(%).  
Fonte: Adaptado de MME (2014).

Existem, porém, extremos opostos. Nos países do Golfo Pérsico, suas matrizes são eminentemente fósseis, e em países com baixo grau de desenvolvimento, quase totalmente renováveis. Na Arábia Saudita, por exemplo, petróleo e gás natural respondem por 100% de suas matrizes, enquanto em Moçambique, as fontes renováveis respondem por 90,5% da sua

matriz energética e por 99,9% da elétrica. Há países que são muito dependentes de uma só fonte. Na África do Sul, por exemplo, o carvão mineral ocupa 94% de sua matriz elétrica. No Uzbequistão, o gás natural responde por 75% de sua matriz energética. No Paraguai, a energia hidráulica representa 100% da sua matriz elétrica (MME, 2014).

No Brasil (Figura 11), em 2013, dentre as fontes energéticas disponíveis, o regime energético apresentou características próprias em relação ao uso de fontes renováveis, que apresentam 41% (somatório da hidráulica e outras) da matriz energética. Porém, mesmo com essa significativa participação das fontes renováveis, os combustíveis fósseis também constituem o regime energético dominante no país.

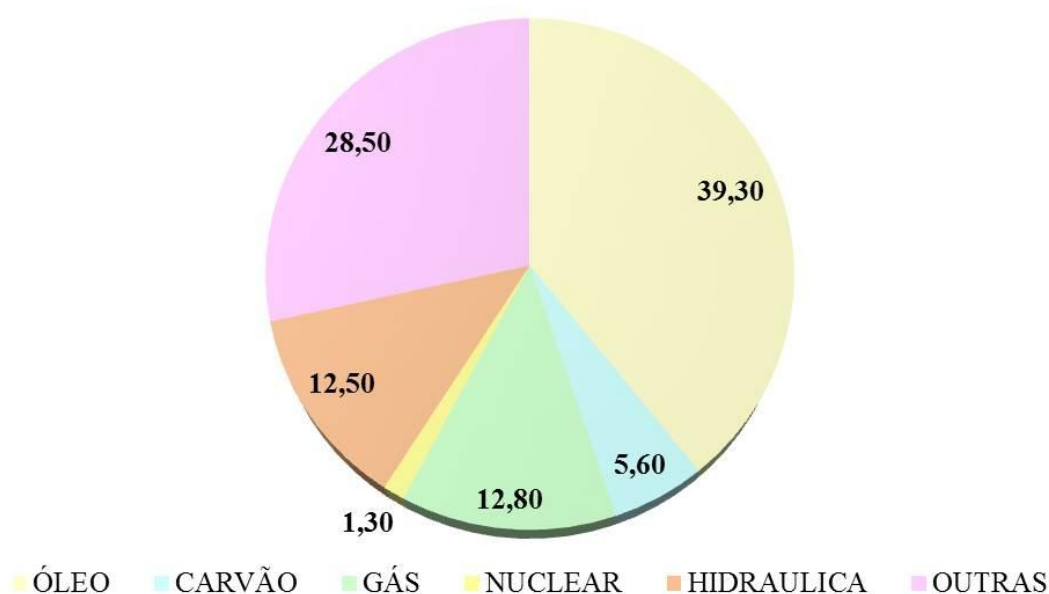


Figura 11: Matriz energética no Brasil em 2013(%).  
Fonte: Adaptado de MME (2014).

O Brasil, de maneira mais específica, aumentou substancialmente o uso da energia hidráulica para a produção de hidroeletricidade, do carvão mineral e do gás natural. Em 2013, a participação de renováveis na matriz energética brasileira manteve-se entre as mais elevadas no mundo, como pode ser visto na Figura 12. Em relação ao ano anterior (2012), teve uma pequena redução devido à menor oferta de energia hidráulica. Além disso, segundo o MME (2014), no Brasil, o indicador de emissões é de 1,55 tCO<sub>2</sub> /tep (66% do indicador mundial), em razão da maior presença de fontes renováveis na sua matriz energética. O crescimento econômico nos países em desenvolvimento – os chamados não OECD - é alimentado por uma dependência contínua de combustíveis fósseis, o que representa a maior parte dos aumentos de emissões (EIA, 2013).

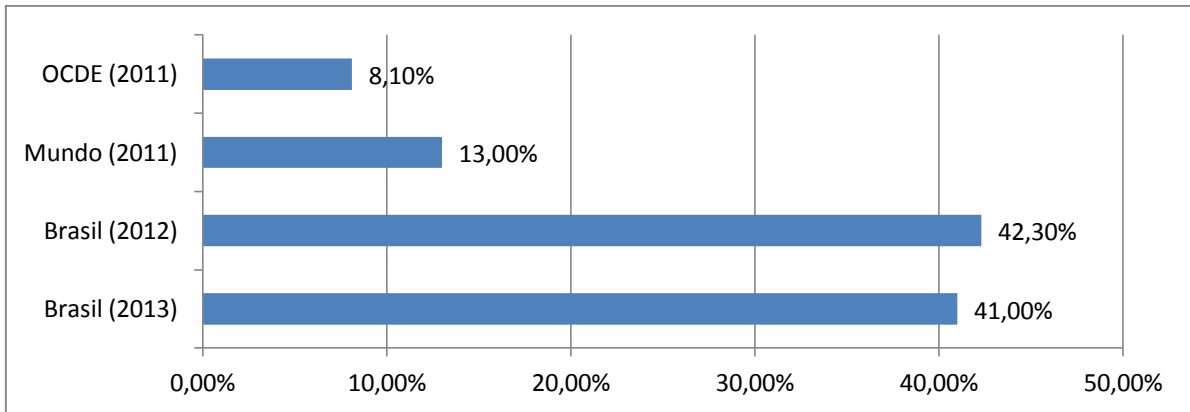


Figura 12: Participação de renováveis na matriz energética.  
Fonte: Adaptada de BEN (2014).

O Brasil está bem posicionado no setor energético e seu regime energético possui características próprias. Em particular, é um dos poucos países onde a participação de fontes renováveis na matriz energética é expressiva (três vezes maior que a média mundial), apesar de o petróleo ainda ser a fonte mais utilizada no país (BEN, 2014). Por ser o maior país tropical do mundo, o Brasil se diferencia positivamente através da energia proveniente da biomassa (23%). Devido à elevada disponibilidade das diversas matrizes no país, a contribuição das fontes renováveis na matriz energética brasileira pode ser ainda mais acentuada.

Quanto à geração de eletricidade, diferentemente da matriz energética mundial que queima combustíveis fósseis para gerar eletricidade, a matriz energética elétrica brasileira é fortemente baseada na hidroeletricidade. As usinas hidrelétricas são responsáveis por mais de 70% da oferta elétrica do país (BEN, 2014). Há possibilidade de manter as fontes tradicionais (hidroeletricidade), e ainda aumentar a participação de novas fontes renováveis: a co-geração a biomassa e o biodiesel.

Quanto ao uso de energia no setor de transporte, há necessidade implantar novas alternativas energéticas e, de preferências, renováveis. O etanol é um tipo de combustível utilizado no país cuja demanda aumentou no mercado interno. Os carros bicombustíveis têm cada vez maior representatividade na frota nacional de veículos leves (BACCHI, 2006).

Outro tipo de combustível renovável utilizado no Brasil é o biodiesel. O biodiesel é um combustível livre de compostos de enxofre em sua composição e pode ser utilizado a partir de gordura animal ou óleos vegetais. No Brasil, o biodiesel é comercializado e misturado ao diesel em pequenas proporções caracterizadas pelo acrônimo B seguida do número correspondente à porcentagem de biodiesel adicionado à mistura (ROCHA *et al*, 2009).

Segundo a Lei 9.478/97, artigo N° 1, incisos IV, VI, VII, X e XI, a política energética nacional tem o objetivo de

[...]incrementar, [...] a utilização de gás natural; utiliza fontes alternativas de energia [...]; atrair investimentos na produção de energia; ampliar a competitividade do País no mercado internacional e proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia” (BRASIL, 1997).

Não obstante a existência de um regime energético dominante dependente de combustíveis fósseis, as configurações da matriz energética no Brasil e no mundo apresentaram significativa redução percentual no uso de petróleo e derivados nos últimos 40 anos (Figura 13). A diminuição percentual no uso do petróleo e derivados se deve, em parte, aos esforços econômicos, busca de eficiência e substituições decorrentes do choque nos preços de petróleo em 1973 (de US\$ 3 o barril para US\$ 12) e em 1979 (de US\$ 12 para US\$ 40) (MME, 2006). Mas, apesar dessa aparente redução no uso de petróleo e derivados, observam-se acréscimos no uso do gás natural e também do carvão. Tal fato contribuiu para a manutenção da predominância dos combustíveis fósseis nas matrizes (mundial e brasileira) dispostas na Figura 13.

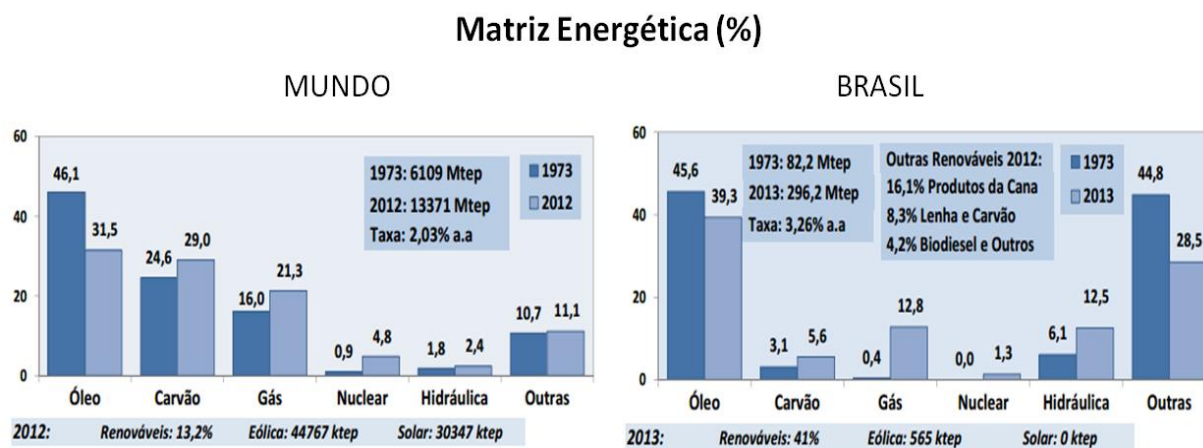


Figura 13: Matriz energética mundial e no Brasil nos últimos 40 anos.  
Fonte: Adaptado de MME (2014).

A título de comparação, em 2012, de acordo com o MME (2014), a demanda total de energia no mundo foi de 13.598 Mtep (81,7% de combustíveis fósseis), com crescimento de 28% nos últimos 10 anos, e equivalente a 46 vezes a demanda brasileira, esta com apenas 58% de fósseis. Dos 13.598 Mtep consumidos no mundo, 31,5% foram de petróleo, 29,0% de carvão mineral, 21,3% de gás natural, 4,8% de energia nuclear, 2,4% de energia hidráulica, 1,0% de energia eólica, geotérmica, solar, biodiesel e outras renováveis (marés, ondas etc.) e 10% de biomassa. Dos 31,5% de petróleo consumidos no mundo, correspondem a 91,3 Mbbl/d (milhões de barris de petróleo por dia), com crescimento decenal de 13,9%, e

equivalente a 31 vezes o consumo do Brasil. Já os 21,3% de gás natural consumidos mundialmente foram de 3.348 bilhões de m<sup>3</sup>, valor com crescimento decenal de 29%, e 89 vezes o consumo do Brasil. O consumo de carvão mineral foi de 3.827 Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo), com 47% de aumento nos últimos 10 anos, e equivalente a 232 vezes o consumo do Brasil. Segundo *World Energy Council* (2013), em 2012, houve um considerável crescimento da demanda global de gás natural.

O atual regime energético mundial vem apresentando alguns problemas, dentre os quais se destacam a possibilidade de exaustão do petróleo, como possibilidade de uma nova crise em função da escassez real (RIFKIN, 2003) e sua reverberação na segurança energética de determinadas regiões e países. Uma vez que a combustão das fontes fósseis (carvão, petróleo e gás) produz mais dióxido de carbono que qualquer outra atividade humana, as emissões de CO<sub>2</sub> têm sido apontadas como potencializadoras da poluição e do aquecimento global e as questões ambientais associadas com a utilização dos combustíveis fósseis são motivos de preocupação da comunidade internacional. Além disso, os sistemas energéticos são a principal fonte das emissões de dióxido de enxofre (82% do total emitido), além de terem uma significativa participação (46% do total emitido) na emissão de monóxido de carbono (HOLDREN e SMITH, 2000; GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003).

Existe a necessidade de implantação de novas alternativas energéticas, na tentativa de promover a descentralização e inverter o modelo que em outros tempos incrementou o crescimento. Além disso, um país não deve ser dependente de uma única fonte de energia, pois quanto mais variada for a sua matriz energética, mais segura estará nesta questão (RIFKIN, 2003). Em termos de desenvolvimento sustentável, os grandes empreendimentos hidrelétricos também causam impacto ambiental e social, apesar de serem fontes renováveis.

Paralelo a isso, com as projeções da EIA (2013) para o aumento do consumo mundial de energia até 2040, a maior parte virá de países em desenvolvimento (não OECD), onde a demanda é impulsionada pelo forte crescimento econômico. Kammen (2006) comenta que o crescimento econômico demanda energia e, por isso, exige-se um compromisso mundial para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis. A energia renovável e a energia nuclear são as de crescimento mais rápido das fontes de energia do mundo, cada uma com aumento de 1 % ao ano e o gás natural tem o mais rápido crescimento dos combustíveis fósseis (Gráfico 1).

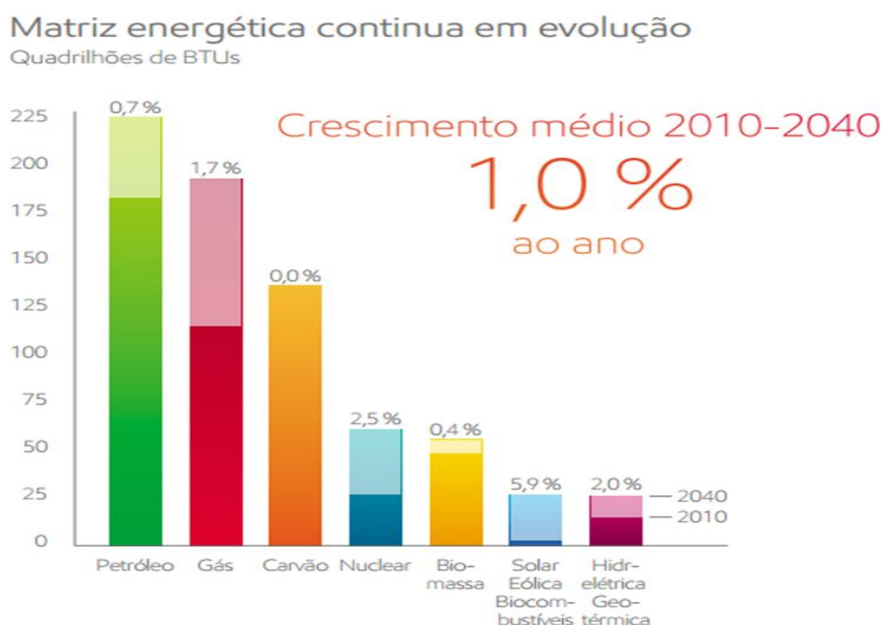


Gráfico 1: Evolução da Matriz energética 2010-2040.  
 Fonte: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (2007).

Estudos têm sido realizados com propostas de uma nova matriz energética, com predominância de fontes renováveis de energia, para atenuar os efeitos danosos dos combustíveis fósseis. Países sul-americanos como Peru, Colômbia e Brasil querem ampliar o papel de energias renováveis, com a incorporação gradativa de energias renováveis à matriz energética destes como uma prioridade local.

Para Hefner III (1995), a mudança da matriz energética mundial vem evoluindo desde a predominância dos combustíveis sólidos e associados ao carbono (biomassa da madeira), em maior ou menor proporção, passando pela era atual suprida pelos combustíveis líquidos - derivados principalmente do petróleo (MACALLISTER *et al.*, 2011) - que, em geral, são fósseis e poluentes, e começa a sofrer um deslocamento dando lugar à matriz dos combustíveis gasosos. Atualmente, nota-se um empenho pela utilização do gás natural, sobretudo como combustível, sendo inegáveis as vantagens sobre os seus concorrentes: o petróleo (líquido) e o carvão (sólido), podendo citar a alta eficiência de combustão, o elevado poder calorífico e a baixa emissão de poluentes (SANTOS, 2009). Futuramente, a mudança na matriz energética culmina para um mundo movido a Hidrogênio (H<sub>2</sub>) - o vetor de energia mais limpo e abundante que a humanidade conhece. A possibilidade desse gás para o futuro reside na possibilidade da redução das emissões de carbono e por reduzir a dependência em combustíveis fósseis (HEFNER III, 1995; DUNN, 2002). Essa tendência histórica tem sido demonstrada por Hefner III (1995), como pode ser visto na Figura 14.

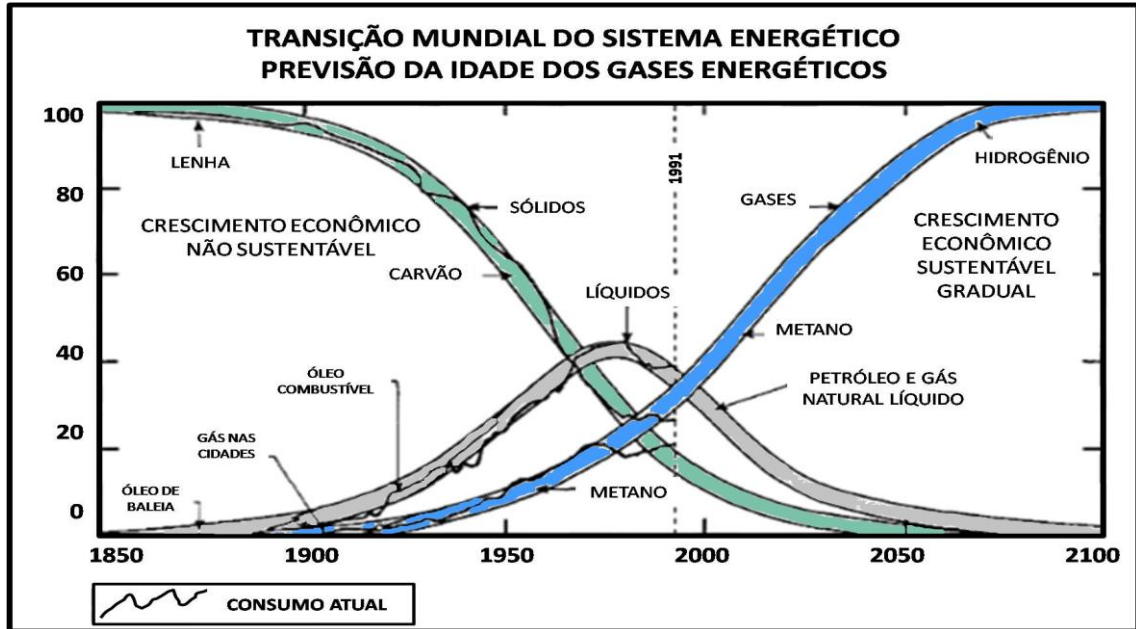


Figura 14: Transição do sistema energético global 1850-2150.  
Fonte: Adaptado de Hefner III (1995).

Nakicenovic (1999) também afirmou que, ao longo dos anos, houve uma gradual substituição de fontes ricas em carbono por fontes de energia pobres em carbono, com uma progressão significativa em relação ao conteúdo de hidrogênio nos combustíveis. Com isso, delinea-se no horizonte energético a evolução da descarbonização<sup>15</sup> da matriz energética. Miranda (2011) estima que, em 2050, o combustível usado será totalmente livre de carbono (Figura 15).

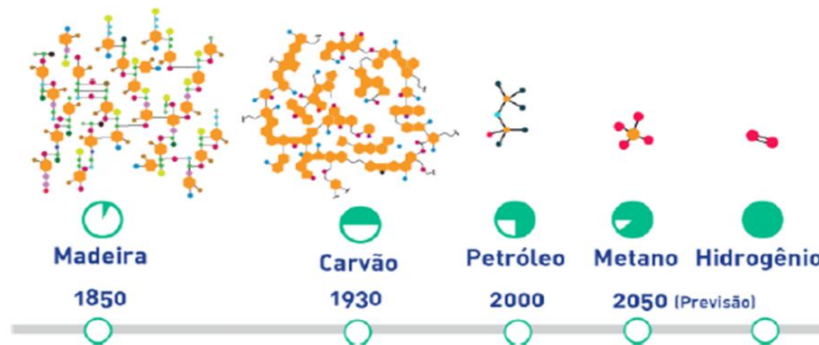


Figura 15: Progressão no conteúdo em hidrogênio dos combustíveis.  
Fonte: Miranda (2011).

<sup>15</sup> Descarbonização energética: diminuição dos impactos ambientais por unidade de energia consumida, independente de qualquer atividade política especificamente designada para proteger o ambiente. Ocorre com a gradual substituição de fontes ricas em carbono por fontes de energia pobres em carbono, ou melhor, a gradual substituição de fontes pobres em hidrogênio por fontes ricas em hidrogênio (NAKICENOVIC 1999; CALABI e FONSECA, 1983).

Dessa forma, no contexto das novas tecnologias de conversão de energia avançada, um forte interesse da comunidade científica internacional tem sido abordado em direção a tendência de um possível desenvolvimento de uma E.H., tomando como premissa que o hidrogênio poderia desempenhar um papel fundamental como futuro portador de energia (BALL e WIETSCHHEL, 2009; MCDOWALL e EAMES, 2006), sobretudo na área de transportes.

O hidrogênio é um dos combustíveis mais eficientes na conversão de energia em movimento. É, aproximadamente, 2,5 vezes mais eficiente que a gasolina (SANTOS E SANTOS, 2005) e, é também, uma alternativa eficiente para a solução dos problemas ambientais causados pelos combustíveis fósseis, seja nas aplicações estacionárias (gases de efeito estufa), seja nas veiculares (poluição atmosférica nos grandes centros urbanos). Também é uma forma sustentável de diversificação da matriz energética, com garantia de segurança no abastecimento e evita crises, uma vez que pode facilmente ser transformado em eletricidade quando necessário. O Quadro 5 apresenta as principais oportunidades e ameaças do hidrogênio como vetor energético frente às demais fontes energéticas usadas atualmente.

Quadro 5: Oportunidades e ameaças do hidrogênio frente às demais fontes energéticas.

OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponível em qualquer parte do mundo;</li> <li>- Rendimento elevado de energia (2,75 vezes maior do que os combustíveis de hidrocarbonetos);</li> <li>- Geração distribuída de energia;</li> <li>- Uso do hidrogênio como vetor energético;</li> <li>- Ruptura no atual regime energético;</li> <li>- Uso em horários de pico do consumo elétrico;</li> <li>- Inclusão social;</li> <li>- Produção através de vários insumos (flexibilidade de obtenção);</li> <li>- Independência externa de combustíveis fósseis;</li> <li>- Redução na Emissão de GEE;</li> <li>- Diversificação da matriz energética;</li> <li>- Redução da demanda de combustíveis fósseis, diminuindo o impacto ao meio ambiente;</li> <li>- Produção de hidrogênio para fins industriais;</li> <li>- Estabilidade econômica para o país, com tendência de crescimento sustentável nos próximos anos;</li> <li>- Busca de parcerias e alianças para o desenvolvimento da cadeia;</li> <li>- Uso veicular. Maior eficiência para geração de energia que motores a combustão convencionais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto custo operacional (atual inviabilidade econômica);</li> <li>- Ausência de Mercado Consumidor (demanda);</li> <li>- Ausência de infraestrutura no armazenamento e distribuição;</li> <li>- Insuficiência de normas de segurança específicas;</li> <li>- Ausência de recursos humanos qualificados;</li> <li>- Ausência de empresas de serviço e produção de equipamentos;</li> <li>- Ausência de produção de H<sub>2</sub> direcionada para fins energéticos;</li> <li>- Não possui competitividade frente aos energéticos concorrentes;</li> <li>- O mercado mundial de CaC oferece pouco produtos comerciais;</li> <li>- Gasta-se energia para extraí-lo e cede-se menos energia que o total usado para sua obtenção.</li> </ul>

A diversificação da matriz energética mundial a partir do desenvolvimento da E.H. é uma tendência atual e países como Estados Unidos, Canadá e Alemanha apostam que o mundo será movido a hidrogênio no futuro. Alguns países já deram a largada nessa corrida



pela fonte energética que deverá movimentar a economia global num horizonte pós-energia fóssil. É o caso, por exemplo, da Alemanha.

Para Hefner (1995), o uso do hidrogênio como vetor energético implica em um mundo descentralizado, altamente eficiente no uso das energias disponíveis, obtidas com benefício/custos equilibrados e com um desenvolvimento econômico sustentável. Com o hidrogênio na base da matriz energética deste mundo novo, teremos que aprender a lidar com os gases e suas exigências infraestruturais. Além disso, o hidrogênio apresenta-se como uma forma sustentável de diversificar a matriz energética, garantindo segurança no abastecimento, além de evitar crise, pois pode ser transformado em eletricidade quando necessário.

## **5.2 Panorama do hidrogênio no mundo e no Brasil**

A expressão “economia do hidrogênio” descreve um novo paradigma econômico baseado no hidrogênio como vetor energético (MATOS, 2009) e das CaC como a tecnologia que transformará o hidrogênio em eletricidade, tanto a geração estacionária quanto a veicular<sup>16</sup>. Tal expressão refere-se ainda a um sistema de energia baseado no hidrogênio para armazenamento, distribuição e uso de energia, sendo citado como uma opção de mudança em relação ao regime energético dominante (PROCAC, 2002 *apud* ROHRICH, 2008). A evolução para a E.H. foi proposta pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2006) e encontra-se na Figura 16.

---

<sup>16</sup> A origem de tal interesse remonta à crise do petróleo no início dos anos 70. Nessa época, o preço do petróleo subiu consideravelmente, o que aumentou a preocupação com a garantia das reservas deste óleo cru e a potencial falta e uma fonte segura de energia. Nesse sentido, a América do Norte e outros países da Europa, juntamente com seus respectivos governos e indústrias, procuraram desenvolver planos e estratégias de implementação para a produção do hidrogênio em um sistema de energia mundial (PROCAC, 2002, p.7 *apud* ROHRICH, 2008).

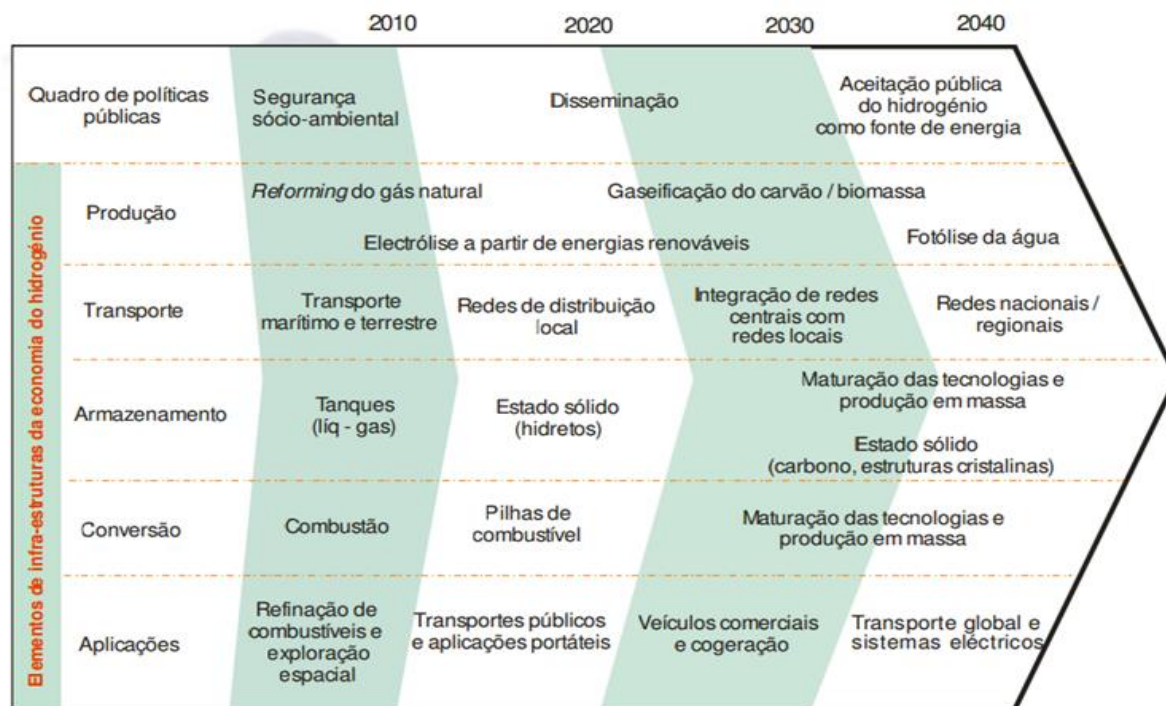


Figura 16: Possibilidades tecnológicas de evolução da cadeia. Transição para a E.H.  
Fonte: Aream (2006).

Considerada a rota mais econômica para a produção de hidrogênio, o processo de reforma a vapor do gás natural, tem seu custo de produção muito sensível ao custo do gás natural. Tal fato pode vir a prejudicar a competitividade desta rota de produção e, conseqüentemente, abrir a possibilidade de investir na produção de hidrogênio através de tecnologias alternativas (CRUZ, 2010).

O aumento da eficiência dos processos termodinâmicos utilizados na transformação do gás natural em hidrogênio é um fator de competitividade importante para as empresas deste setor. Leybros *et al.*(2010) ao investigar alguns processos termoquímicos de produção de hidrogênio (muito favoráveis ambientalmente, porém pouco usados na indústria) obteve valores altos (US\$ 16.000,00 por tonelada de hidrogênio no ciclo “iodo-enxofre” e US\$ 9.000,00 por tonelada de hidrogênio no ciclo “enxofre-híbrido”) quando comparados com o hidrogênio obtido via reforma a vapor. Tais processos necessitam de investimentos em pesquisa e desenvolvimento adicionais para se tornarem mais economicamente competitivos.

Em relação aos seus processos produtivos, basicamente, é possível produzir hidrogênio de duas formas: em grandes unidades de produção ou descentralizada (também referida como *onsite*), na qual os insumos são transportados até um lugar próximo do consumidor final (como um posto de abastecimento) e lá ocorre a produção de H<sub>2</sub> à medida que é utilizado (SOUZA, 2009).

Contudo, a maioria do hidrogênio produzido é utilizado no próprio local de produção (como a indústria petroquímica), e apenas uma fração é destinada para fins energéticos. Entretanto, existe uma grande expectativa no aumento da utilização energética desse combustível devido à possibilidade da disseminação das CaC<sup>17</sup>, bem como da necessidade mundial por menores emissões de CO<sub>2</sub> (NAKICENOVIC, 1999).

Além disso, para que se possa utilizar hidrogênio em larga escala, os pesquisadores devem desenvolver meios mais práticos e econômicos para estocar e produzir o hidrogênio, principalmente sua conversão em energia através das CaC, que é uma das formas mais vantajosas de se obter energia a partir do hidrogênio (as emissões de uma central elétrica de células de combustível são 10 vezes menores do que as normativas ambientais mais restritas, além de produzirem um nível muito inferior de dióxido de carbono) (ROGGIA *et al.*, 2009).

Ainda, segundo Roggia *et al.* (2009), no que diz respeito às CaC, a flexibilidade no planejamento resulta em benefícios financeiros e estratégicos para as unidades de células de combustível e para os consumidores. Centrais de produção de energia através de células de combustível podem ser implementadas junto dos pontos de fornecimento permitindo a redução dos custos de transporte e de perdas energéticas nas redes de distribuição. Uma célula de combustível pode converter mais do que 90% da energia contida num combustível em energia elétrica e calor.

Sob a perspectiva do mesmo autor, as células de combustível podem ser desenvolvidas para funcionarem a partir de gás natural, gasolina, álcool, carboidratos ou outros combustíveis fáceis de obter e transportar (disponíveis a baixo custo). Na qualidade de tecnologia alvo de interesse recente, as células de combustível apresentam um elevado potencial de desenvolvimento, o que não deixa de fora o Brasil.

Nesse sentido, tanto o hidrogênio quanto as células a combustíveis são apontados como potenciais substitutos ao uso direto das fontes fósseis e do motor de combustão (VEZIROGLU, 1987; VEZIROGLU, 1995; DANTE, 2002, CHERRY, 2004; MCDOWALL e EAMES, 2006). Tais alternativas são consideradas nesta dissertação como uma possível ruptura no atual regime energético, com potencial para redução das emissões de CO<sub>2</sub> e conflitos geopolíticos de interesse internacional entre as nações fornecedoras e consumidoras de petróleo.

---

<sup>17</sup> CaC são dispositivos que disponibilizam a energia química dos combustíveis de forma direta convertendo-a em energia elétrica, com alta eficiência mediante reações isotérmicas a temperaturas relativamente baixas, sem empregar a combustão.

Para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2010), a E.H. aponta para uma economia que use fontes renováveis, prontamente disponível em todas as partes do mundo e que não comprometa o crescimento econômico e a qualidade de vida da população, com benefícios sociais, econômicos e ambientais. A E.H. refere-se ainda a um mercado estruturado, que permite sua comercialização a preços competitivos, com qualidade, confiabilidade e segurança no suprimento.

Silva (1991) afirma que o hidrogênio é conhecido como o combustível do futuro, já imaginado para o próximo século. Além de seu potencial de longo prazo para reduzir a dependência do petróleo estrangeiro e reduzir o carbono e emissões do setor de transporte, o hidrogênio também tem outra vantagem por ter um rendimento elevado de energia (122 kJ/g<sup>18</sup>), a qual é 2,75 vezes maior do que os combustíveis de hidrocarbonetos (KAPDAN, 2006).

Uma outra característica do hidrogênio é a flexibilidade de sua obtenção, podendo ser produzido a partir de fontes distintas, renováveis ou não (SOUZA, 2012). As fontes renováveis consideradas são a biomassa, a radiação solar, a energia eólica e a energia térmica dos oceanos. Tais fontes possibilitarão a obtenção do hidrogênio a partir da eletrólise da água, tecnologia que separa o hidrogênio do oxigênio (DANTE, 2002). Além disso, o hidrogênio também pode armazenar a energia excedente produzida nas hidrelétricas para posterior consumo. Toda essa flexibilidade permitiria que cada país estudasse também a melhor maneira de produzir o hidrogênio, segundo suas próprias disponibilidades (LINARDI, 2008).

Nesse sentido, o hidrogênio gerado a partir de fontes renováveis fecha um ciclo na natureza que tem mínimos efeitos ambientais, relativamente altas eficiências de processos e sem perspectivas de esgotamentos, pois dependeria de fontes primárias renováveis como energia eólica, solar, etc.

Em contrapartida, existem alguns desafios para que a E.H. seja alcançada. A tecnologia para produção de hidrogênio a partir da biomassa ainda se encontra em estudo (SOUZA, 2012). O uso do hidrogênio no setor do transporte também apresenta alguns problemas adicionais correlacionados como a criação de uma grande rede com infraestrutura para utilização de combustível, estritamente relacionados com as tecnologias de produção selecionados. A necessidade do desenvolvimento de tecnologias específicas no armazenamento é importante em função das densidades típicas dos combustíveis líquidos tradicionais (gasolina, diesel, GLP). Além disso, a maior parte do hidrogênio produzida

---

<sup>18</sup> Quilojoule por grama ao quadrado.

atualmente é destinada principalmente para as indústrias, sendo a quantidade de hidrogênio destinado para fins energéticos mínima, devido à concorrência com outras opções energéticas disponíveis no mercado, como os combustíveis fósseis que são mais viáveis economicamente.

No entanto, Lellis (2010) relata que no período de 1989 a 2008, houve uma evolução da pesquisa no mundo por componentes da cadeia produtiva do hidrogênio como armazenamento e célula a combustível. Já na década de 1980, em um estudo realizado pela Agência Internacional de Energia, foi investigada a demanda do hidrogênio até aproximadamente o ano 2020, onde foram identificadas três principais demandas para o setor (DONITZ, 1984). A E.H. fundamenta-se na terceira possibilidade citada por Donitz, ou seja, o uso do hidrogênio como energia direta, o que é percebido como um novo regime energético.

Os documentos oficiais dos países que buscam implantar a E.H. permitem a identificação dos principais motivadores – produção a partir de diversas fontes e uso envolvendo baixíssimos impactos ambientais – para o estabelecimento das tecnologias envolvendo o uso energético do hidrogênio (CGGE, 2010).

"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 importados, além de ser uma alternativa estratégica em países que possuem outras fontes de energia." (CGGE, 2010, p. 13)

O mercado global de hidrogênio já é superior a US\$ 40 bilhões por ano (KRAUS, 2007) e suas produções e vendas tendem a aumentar, o que está intimamente relacionado com o aumento da demanda de hidrogênio em refinarias de petróleo (KOTAY E DAS, 2008; OGDEN, 1999).

Apesar das vantagens ao produzir o hidrogênio a partir das fontes renováveis, atualmente a maior parte do hidrogênio é produzida a partir de fontes de energia convencionais e poluentes, tais como: o gás natural (240 bilhões de m<sup>3</sup>); a reforma de petróleo (150 bilhões de m<sup>3</sup>) e o gás de carvão gaseificado (90 bilhões de m<sup>3</sup>) (BICELLI, 1986; RIFKIN, 2003). Ainda, para a IEA (2004) o caminho dominante e mais barato para a produção do hidrogênio é através do gás natural, em um processo chamado de “reforma a vapor”. Todavia, esse processo gera CO<sub>2</sub>.

Já Silva *et al.* (2003) acredita que a economia baseada no hidrogênio como vetor energético, obtido das fontes renováveis, representaria o fim da era do carbono como fonte de

energia. Para Souza (2009), o hidrogênio é uma alternativa energética possível e já está sendo produzida em países que procuram fontes de energia limpas, não poluentes e renováveis.

Nesse contexto, a tecnologia do hidrogênio despertou o interesse de países como os Estados Unidos da América (EUA), Japão, países europeus (RAFFI *et al*, 2013), e o Brasil (PONTES, 2008). Há projeções indicando que 90% da energia será proveniente do hidrogênio para a década de 2080 (MARCHETTI e NAKICENOVIC, 1979).

Vale ressaltar que já há empresas estabelecidas no mercado mundial, como a Samsung, Sony, Toshiba, Motorola, Panasonic e Hitachi já investem na tecnologia do hidrogênio combustível; algumas possuem até mesmo patentes e protótipos desenvolvidos, e se depender do volume de investimento destas empresas, a tecnologia deverá estar consolidada em alguns anos. Em 2012, na *World Hydrogen Energy Conference* (WHEC, 2012) as montadoras automobilísticas Daimler AG, Honda e Toyota confirmaram planos de produção de carros movidos a célula a combustível para serem vendidos a partir de 2015, o que aponta para a necessidade de instalar uma infraestrutura para que esses carros sejam usados pela população quando forem disponibilizados no mercado.

Essas empresas estão sediadas principalmente no Canadá, Estados Unidos, Alemanha, China e Japão recebem de seus governos grandes encomendas de CaC e até mesmo subsídio. Alguns sistemas de geração de pequeno porte que podem ser utilizados nas residências e pequenas empresas estão sendo desenvolvidos, principalmente na Europa e Japão e podem estar disponíveis a preços acessíveis já em 2020. Também existem aplicações que já são viáveis economicamente, como os sistemas de “*backup*” para as estações de radio-base, que fazem a substituição das baterias convencionais (CGEE, 2010).

Os incentivos à E.H. no ambiente internacional têm sido amplamente abordados por vários países e formalizados em iniciativas como a International Partnership for the HydrogenEconomy (IPHE) e a Agência Internacional de Energia (IEA). O Quadro 6 traz alguns exemplos de investimentos em tecnologia de sistemas de CaC e o hidrogênio como vetor energético, realizados por instituições públicas e privadas.

Quadro 6: Investimentos públicos e privados em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para o hidrogênio e a célula a combustível.

Investidor	Áreas Beneficiadas	Total de investimentos US\$ milhões	Período
U.S. DOE – Análise do investimento do governo americano federal pelo <i>Hydrogen Technical Advisory Panel</i> .	Programas de P&D e demonstração para sistema de hidrogênio e CaC	150	1999
DOE – FreedomCAR	Novo Programa do <i>Office of Energy Efficiency and Renewable Energy</i>	162	2002
DOE – SOFC e MCFC	Dentro do <i>Office of Fossil Energy</i>	49,5	2002
Estado de Ohio – EUA	P&D, demonstração, capacitação profissional, empréstimos (juros abaixo do mercado)	103	2002 – 2005
Governo do Canadá & Empresas	Programas de P&D e demonstração	19,5	2001 – 2002
Governos de países europeus & União Européia (EU) – Associação Francesa de Hidrogênio	Alemanha, França, EU, Itália, Suécia, Islândia, Holanda, Noruega, Espanha, Reino Unido, Suíça, Finlândia, Áustria, Portugal, Grécia, Dinamarca	EU – 190 Alemanha – 90 França – 35	2000
Daimler Chrysler Empresarial	Investimento Privado	1.500	2001 – 2004

Fonte: Adaptado de Rohrich (2008).

Por iniciativa dos Estados Unidos, através de seu Departamento de Energia (DOE), em 2003, visando políticas internacionais e com o intuito de tentar reunir esforços para incentivar o desenvolvimento da E.H. e desta forma reduzir os custos de implantação do hidrogênio como vetor energético, foi criada uma parceria denominada IPHE (*International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*).

Atualmente, a IPHE conta com a participação de 18 parceiros: Austrália, Áustria, Brasil, Canadá, China, Comissão Europeia, Alemanha, França, Islândia, Índia, Itália, Japão, República da Coreia, Noruega, Rússia, República da África do Sul, Reino Unido e Estados Unidos. Esses integrantes contribuem para mais de 65% das emissões globais de gases de efeito estufa (IPHE, 2009).

Esta parceria tem o propósito de acelerar a transição para E.H, onde estabelece como principal objetivo um mecanismo de parceiros para organizar, coordenar, tendo como foco organizar e implementar as pesquisas no nível internacional de tecnologias de hidrogênio e células de combustível (IPHE, 2009). Estas pesquisas visam o desenvolvimento de novas tecnologias, das atividades de utilização comercial e dos projetos de demonstração da utilização do hidrogênio como combustível, bem como das CaC (CGEE, 2010).

O IPHE definiu as áreas prioritárias na transição para a E.H. Tais áreas podem ser assim listadas: P&D em CaC; produção e armazenamento do hidrogênio; regulamentos e padrões para as CaC e o hidrogênio e questões socioeconômicas para o hidrogênio. Dessa forma, o objetivo principal é implementar, facilitar e estabelecer, entre seus membros, atividades de P&D&I e de desenvolvimento de mercado em relação ao hidrogênio e às tecnologias de CaC.

Para desenvolver a tecnologia destinada à produção de hidrogênio a IPHE propõem várias ações que visam criar uma cadeia da EH em todo o mundo: integrando entidades governamentais e a iniciativa privada para investimentos nas áreas de pesquisa básica, pesquisa aplicada e no desenvolvimento de produtos e serviços; inserir o governo como o grande incentivador destes projetos; e criação de códigos, normas e padrões semelhantes em todo o mundo e desta forma, se reduzir os custos de adaptação da tecnologia de um país para o outro (LUBE, 2012).

Existe um fórum, no âmbito da IPHE para políticas avançadas, normas e padronizações técnica comuns que podem acelerar a transição a custo efetivo para uma E.H. e educar e informar os interessados e o público em geral dos benefícios e desafios, integrando as tecnologias relacionadas ao hidrogênio no mercado. Segundo o CGEE (2010), espera-se que este fórum traga grandes benefícios na implementação da E.H., já que isso reduziria os custos relacionados à integração do sistema em nível mundial, e assim poderia acelerar a transição para uma base tecnológica do hidrogênio como vetor energético.

Os governos correspondentes aos países integrantes dessa parceria internacional patrocinaram a elaboração de roteiros dedicados à E.H. tendo como público alvo seus próprios governos e suas indústrias locais. Dessa forma, existem várias razões indicadas pelos países membros da IPHE em elaborar o roteiro, dentre as quais se destacam a redução dos gases do efeito estufa e a segurança energética, o uso mais eficiente dos combustíveis fósseis, a utilização de energia que reduz os impactos ambientais e toda uma nova cadeia econômica advinda da utilização do hidrogênio como vetor energético. Além disso, o uso desta tecnologia possibilitará o aproveitamento mais eficiente dos recursos energéticos das cadeias de produção local (CGEE, 2010).

Objetivando as vantagens para o meio ambiente, a produção do hidrogênio a partir de fontes renováveis é a opção mais adequada, contribuindo de fato para a descarbonização. Tal opção foi escolhida pela Alemanha, Dinamarca, Suíça, Suécia e Brasil (ROHRICH, 2008).

Neste sentido, cada país pode produzir o hidrogênio de acordo com o seu potencial de produção. As iniciativas mundiais em direção a E.H. buscam o uso do hidrogênio como



vetor energético limpo e o uso das CaC. Com isso, as possibilidades de desenvolvimento tecnológico por parte dos países que ainda não desenvolveram estas tecnologias se tornam grandes, já que ainda podem contribuir para essa diversificação. Desta forma, é possível construir uma estrutura nacional que consiga captar o potencial para a produção do hidrogênio combustível das mais variadas fontes de acordo com o seu país de origem.

### 5.2.1 Hidrogênio no Brasil

Segundo CGEE (2010), existem oportunidades para o Brasil no desenvolvimento de tecnologias para a produção de hidrogênio. A aplicação das tecnologias de produção de energia a partir do hidrogênio torna-se uma alternativa para inserir ainda mais as fontes renováveis no balanço energético nacional. Além disso, é crescente no Brasil a utilização de energéticos de origem renovável motivando o Brasil desenvolver a EH (CGEE, 2010). Nesse sentido, o responsável pela concepção e implementação de políticas para o setor energético no país é o MME.

As políticas energéticas do país devem estar em conformidade com as diretrizes do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)<sup>19</sup>, instituído pela Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. A lei 9.487/97 aponta que a política nacional deve contemplar o uso das fontes alternativas de energia na matriz energética nacional, o que abre espaço para a introdução do uso do hidrogênio para tal fim.

O MME, durante o biênio 2005/2006, com a estratégia de resgate do planejamento com visão de longo prazo, priorizou a realização de vários estudos. Além do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDEE), o Plano Nacional de Energia (PNE) e o da Matriz Energética Nacional (MEN) apresentou um horizonte de planejamento até 2030. Além do MME, o MCTI também contribuiu para a estruturação da E.H. no país coordenando pesquisas brasileiras de CaC. Capacita e treina também os recursos humanos envolvidos.

O MCTI classificou as competências científicas e tecnológicas referentes à tecnologia do hidrogênio, tendo como fato desencadeador as pesquisas relacionadas à produção de hidrogênio e de CaC desenvolvidas em diferentes instituições, sendo financiadas por agências de pesquisas ou empresas (LABORDE *et al.*, 2010). No Brasil, até o momento, a

---

<sup>19</sup> O CNPE tem como finalidade assegurar o suprimento de insumos energéticos para as áreas mais remotas ou de difícil acesso, ou seja, a geração de energia de forma distribuída.

FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) é a maior financiadora em projetos de CaC e Hidrogênio.

Em 2002, foi lançado o Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2). Quanto à Estruturação da E.H. no Brasil, o papel do MME foi de planejar e desenvolver ações que conduzam à utilização do hidrogênio como vetor energético até 2020, complementando a matriz energética renovável do país. Sua atividade permanente é traçar diretrizes para Elaboração da Política Energética no Brasil, usando o hidrogênio como vetor energético. Neste contexto, o MME, motivado pelas vantagens ambientais e no futuro, econômicas, e pela decisão de diversificar a matriz energética nacional, em 2005, elaborou o Roteiro Brasileiro do Hidrogênio, conhecido como Roteiro para Estruturação do Hidrogênio no Brasil versão Beta, que discutiu em linhas gerais a estruturação da cadeia do hidrogênio no país (CGEE, 2010).

Quanto às estratégias do Brasil dispostas no Roteiro Beta, destacam-se a atuação governamental através do MME e MCTI, investimentos em pesquisa e inovações tecnológicas pontuais, desenvolvimento de produtos e crescimento gradual da oferta (PONTES, 2008). A Figura 17 traz as ações traçadas após a elaboração do Roteiro.



Figura 17: Ações projetadas após a elaboração do Roteiro Beta.  
Fonte: Pontes (2008).

No Roteiro, a previsão de produção de hidrogênio para 2010 foi de aproximadamente 917 mil toneladas métricas. Já para o ano de 2015 a previsão deste volume era de 1,12 milhões de toneladas métricas. O Roteiro ainda define prioridades, apontando marcos global que orientam as ações quanto ao desenvolvimento da E.H. tais como os observados na Figura 18.

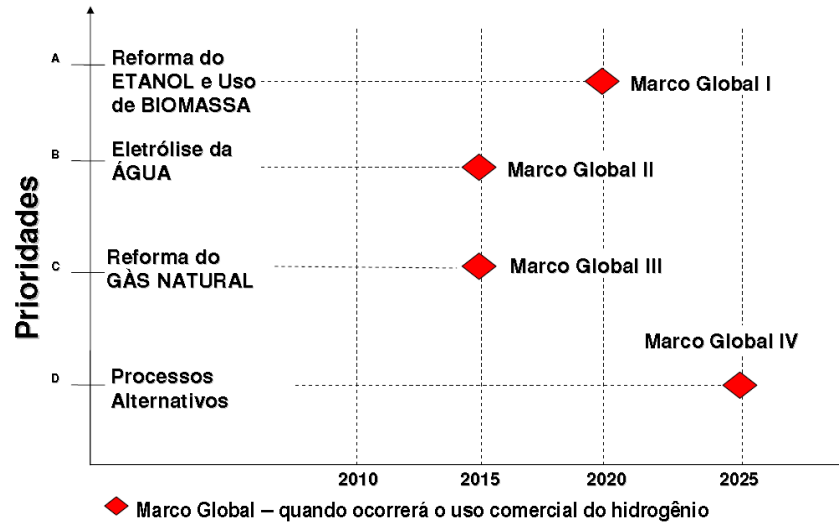


Figura 18: Prioridades do Roteiro Beta.  
Fonte: Araújo (2008).

Em 2010, foi produzido um documento pela equipe técnica do CGEE e pesquisadores com o título “Hidrogênio energético no Brasil - Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025”. Este documento propositivo oferece, aos tomadores de decisão, subsídios para definir ações político-institucionais a fim de descrever um novo paradigma econômico baseado no hidrogênio como vetor energético, que em consonância com a visão de demanda futura e com principais pensamentos estratégicos de especialistas, tenham elevado potencial para promover o estabelecimento e a sustentabilidade das tecnologias do hidrogênio no país.

Dessa forma, tal estudo propõe o incentivo à E.H. de produção, ao desenvolvimento e aos sistemas de utilização do hidrogênio. No intervalo de 15 anos, as propostas apresentadas pelo documento do CGEE estabelecem ações para curto prazo (0 a 5 anos); médio prazo (5 a 10 anos); e longo prazo (10 a 15 anos). O principal objetivo do estudo é oferecer elementos para definir ações e políticas públicas para o desenvolvimento e adoção de tecnologias do hidrogênio (CGEE, 2010). O Quadro 8 apresenta algumas considerações sobre as políticas voltadas para a produção do hidrogênio energético no país.

Os ministérios MME e MCTI atuam para que o hidrogênio esteja, até 2025, inserido na matriz energética nacional, sendo utilizado como vetor energético tanto no fornecimento de energia elétrica quanto no mercado de combustíveis, obtido, preferencialmente, a partir de fontes renováveis.

O desenvolvimento de tecnologias para a E.H. no país certamente contribuirá para uma utilização mais eficiente dessas fontes energéticas, além de possibilitar uma participação importante no mercado mundial de equipamentos e serviços relacionados às energias

renováveis e ao hidrogênio. Apesar de não maduras, já existem tecnologias de CaC, da produção, do armazenamento e transporte de hidrogênio (CRABTREE e DRESSELHAUS, 2008). O Quadro 7 aponta para as oportunidades e ameaças do Brasil frente aos países que buscam desenvolver a E.H.

Quadro 7: Oportunidades e ameaças da E.H. do Brasil frente a E.H. no mundo.

<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMEAÇAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimentos em P&amp;D na E.H.</li> <li>- Disponibilidade de centros de pesquisas.</li> <li>- Desenvolvimento de tecnologia para uso de H<sub>2</sub> em meios de transportes, com motores movidos a hidrogênio.</li> <li>- Busca de parcerias e aliança para o desenvolvimento da cadeia.</li> <li>- Investimentos de pesquisas e desenvolvimento da E.H.;</li> <li>- Produção através de diferentes insumos;</li> <li>- Proposta de utilização sustentável do hidrogênio em hidrelétricas no Brasil;</li> <li>- Uso de fontes alternativas de energia (energia renovável);</li> <li>- País da América Latina com maior desenvolvimento no setor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausência de investimentos em pesquisas no processo produtivo. Atraso no desenvolvimento brasileiro.</li> <li>- Ausência de investimento na criação de postos de abastecimento de veículos que usam o hidrogênio como combustível.</li> <li>- Ausência de mercado interno consumidor de energia e da cadeia de suprimentos do hidrogênio energético.</li> <li>- Ausência de desenvolvimento em infraestrutura na cadeia produtiva do H<sub>2</sub> como um todo.</li> <li>- Uso reduzido para fins de geração de energia;</li> <li>- Ausência de infraestrutura instalada;</li> <li>- Falta de recursos humanos qualificados;</li> <li>- Inexistência de capacidade industrial para produção de equipamentos;</li> <li>- Produção concentrada em apenas algumas regiões do país.</li> </ul>

Quadro 8: Programas e Políticas setoriais para a produção de hidrogênio.

Política	Ano	Ministério	Principal Objetivo	Ação	Beneficiários	Mecanismo	Tipo de Política
PROH <sub>2</sub>	2004	MCT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Orientar as P&amp;D em células a combustível, a fim de otimizar a utilização dos recursos disponibilizados pelas agências financiadoras oficiais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoiar o estabelecimento de indústria nacional para produção e fornecimento de sistemas energéticos com células a combustível;</li> <li>Garantia do uso racional dos recursos investidos;</li> <li>Compartilhar a infra-estrutura existente;</li> <li>Fomentar a capacitação de RH;</li> <li>Garantir o intercâmbio de conhecimentos a partir de sistemas de informação;</li> <li>Incentivar a participação de empresas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redes cooperativas de P&amp;D;</li> <li>Pequenas e grandes empresas envolvidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estrutura na forma de redes cooperativas de P&amp;D, abrangendo todo o território nacional;</li> <li>Formação das redes de P&amp;D;</li> <li>Coordenação das ações e projetos de cada instituição;</li> <li>Uso dos recursos dos Fundos Setoriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pesquisa e Desenvolvimento (P&amp;D);</li> <li>Setor privado: Financiamento a taxas reduzidas, Subsídios, Incentivos fiscais, etc..</li> </ul>
Roteiro Beta	2005	MME	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introdução do hidrogênio na Matriz Energética Brasileira de forma expressiva até 2020.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diversificação da matriz energética;</li> <li>Redução de impactos ambientais, poluição atmosférica e da dependência externa de combustíveis fósseis;</li> <li>Produção de hidrogênio a partir do gás natural e de fontes renováveis;</li> <li>Planejar a participação da indústria nacional na Economia do Hidrogênio.</li> </ul>	Instituições governamentais e empresariais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incentivo a reforma do etanol;</li> <li>Identificação de Grupos de pesquisa atuando no desenvolvimento de células a combustível e que estavam obtendo sucesso;</li> <li>Balanço da maturidade tecnológica do Hidrogênio no país.</li> </ul>	Diretrizes para o incremento tecnológico, econômico e institucional para a cadeia produtiva do hidrogênio.
Hidrogênio energético no Brasil – subsídios para políticas de competitividade 2010-2025	2010	MCT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oferecer elementos para definir ações e políticas públicas para o desenvolvimento e adoção de tecnologias do hidrogênio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fornecer subsídios aos tomadores de decisão;</li> <li>Identificar os gargalos encontrados para a promoção da economia do hidrogênio;</li> <li>Incentivo à Economia do hidrogênio: à produção, ao desenvolvimento da logística e aos sistemas de utilização do hidrogênio;</li> <li>Diminuição de impactos ambientais na geração e utilização de energia;</li> <li>Aumento da segurança energética; melhoria do aproveitamento dos recursos naturais; desenvolvimento regional; desenvolvimento de parque industrial competitivo; geração de empregos.</li> </ul>	Instituições governamentais e empresariais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com um horizonte de 15 anos, as propostas apresentadas pelo documento estabelecem ações para o estabelecimento de uma agenda tecnológica, voltada à pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico e ações para o estabelecimento de uma agenda de inovação, voltada para o incentivo ao desenvolvimento industrial dessas tecnologias. Deve-se considerar: curto (0 a 5 anos), médio (5 a 10 anos) e longo prazo (10 a 15 anos).</li> </ul>	Documento Técnico de incentivo a Economia do Hidrogênio.

Fonte: Elaborada a partir de Roteiro Beta (BRASIL, 2005).

No Brasil, a discussão sobre o desenvolvimento da energia do hidrogênio tem o objetivo de analisar os potenciais desafios para o seu desenvolvimento. O país ainda tem buscado novas parcerias com os países sul-americanos e os EUA. Uma visão governamental das parcerias firmadas pelo Brasil e seu relacionamento interno e externo estão na Figura 19.



Figura 19: Visão governamental das parcerias buscadas pelo Brasil.  
Fonte: Gosmann (2006).

Nesse sentido, ficou estabelecida a organização dos ministérios, centros de pesquisas e instituições envolvidas na E.H. A organização institucional para pesquisas relacionadas ao hidrogênio está representada na Figura 20.

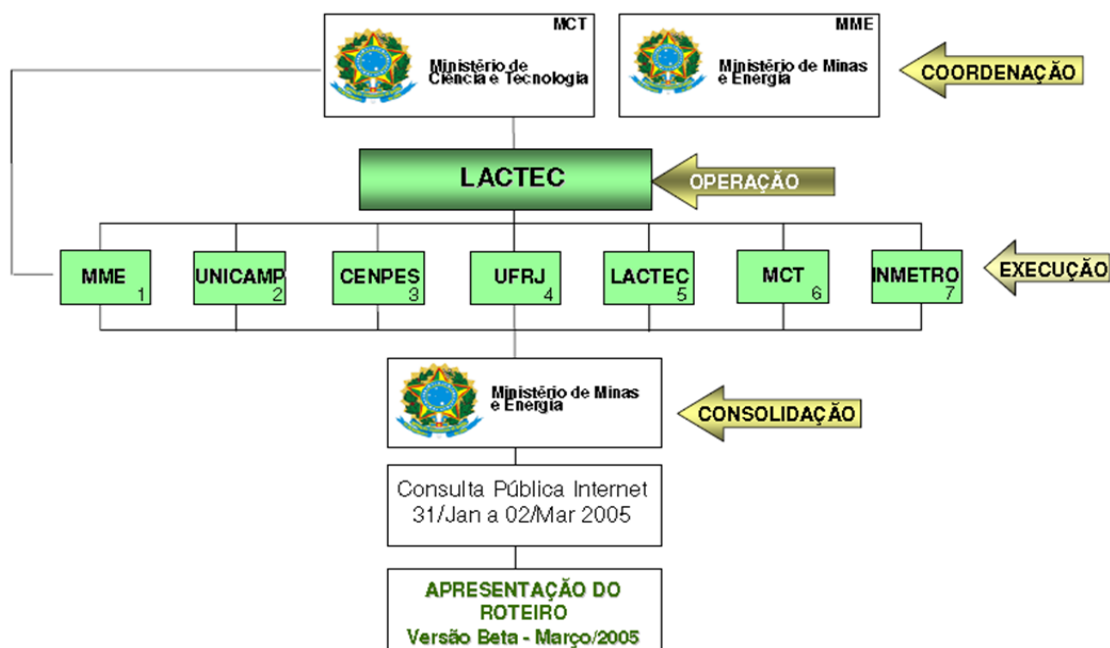


Figura 20: Organização das Instituições envolvidas na promoção do hidrogênio no Brasil.  
Fonte: Gosmann (2006).

A competitividade do hidrogênio derivado de fontes alternativas de energia depende, em grande medida, da eficácia e coordenação de políticas fortes com medidas de apoio à tecnologia, pesquisa e desenvolvimento, tendo em conta o tempo necessário para a comercialização (EUROPEAN COMMISSION, 2003). Estas medidas deverão atender tanto a oferta e demanda, tendo em conta a competitividade global e a resolução de várias questões e motivações críticas, nomeadamente:

- Qual o nível de prioridade que a política energética atribui às considerações ambientais – acima de tudo, redução do CO<sub>2</sub> – e às preocupações em termos de segurança do abastecimento, sobretudo, à sustentabilidade em todo o processo produtivo;
- A incerteza quanto a futuros desenvolvimentos tecnológicos no setor energético e a necessidade de evitar investimentos não recuperáveis a médio e longo prazo;
- A necessidade de reduzir os custos na separação do hidrogênio contido na matéria prima e de estimular as potenciais utilizações do mesmo, entre elas, a produção de hidrogênio para fins energéticos e geração distribuída de energia;
- As perspectivas de melhorias significativas na competitividade das células de combustível de hidrogênio no quadro do mercado livre;
- A oportunidade de promover um leque diversificado de soluções para diferentes tipos de fontes alternativas geradoras de hidrogênio, tendo em conta a elevada probabilidade de concorrência em torno do atual meio de produção de energia (hidrelétricas) e em torno dos combustíveis fósseis no setor de transportes.

Diante do contexto, o engajamento do país para a implantação da E.H. é altamente estratégico dos pontos de vista econômico, tecnológico e ambiental. O fator chave para a utilização em massa do hidrogênio é representado por custo e eficiência de tecnologias de produção. Sendo assim, dispõe de diversos grupos de pesquisa e empresas de base tecnológica, sendo líder em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) de tecnologias de hidrogênio na América Latina (CGEE, 2010). Outra forma de desenvolver esta cadeia para o uso do hidrogênio no país foi o firmamento da Parceria Internacional para a Economia do Hidrogênio (IPHE) desde 2003.

Apesar da cooperação entre as diversas áreas relacionadas à produção de hidrogênio, não existem no Brasil programas conjuntos sobre a utilização de fontes renováveis alternativas de geração de energia elétrica e utilização de hidrogênio como combustível. Há também uma deficiência na formação e fixação de recursos humanos nas instituições de PD&I

devido, principalmente, ao fato de que boa parte dos trabalhos realizados depende de mão de obra qualificada (CGEE, 2010).

Rifkin (2003) afirma que existe pouca disseminação pública de informações sobre a tecnologia do hidrogênio, seus pontos positivos, negativos e impactos, afetando a receptividade social acerca dessas tecnologias. No entanto, essa dissertação propõe, na seção a seguir, apresentar os pontos fortes, fracos e os desafios de cada uma das matérias-primas e suas respectivas tecnologias para a produção de hidrogênio.

### **5.3 Panorama das tecnologias disponíveis para a produção do hidrogênio**

De acordo com a Figura 21, o hidrogênio pode ser produzido a partir de dois principais grupos de fontes de energia<sup>20</sup>: não renováveis (gás natural, carvão e petróleo - WILTOWSKI *et al.*, 2008) e renováveis (biomassa, etanol, água, eólica, etc). As fontes de energia primária podem ser utilizadas no processo de produção de hidrogênio (VEZIROGLU, 1975), no qual é uma importante característica que mostra a possibilidade de sua produção através de diversos insumos e processos e colocam-no como um elemento de integração entre diversas tecnologias (CGEE, 2010).

---

<sup>20</sup> O hidrogênio é classificado como fonte de energia secundária e, apesar de não ser encontrado livre na natureza, pode ser extraído de diversas fontes diferentes (ver Figura 21), sendo considerado um vetor energético.



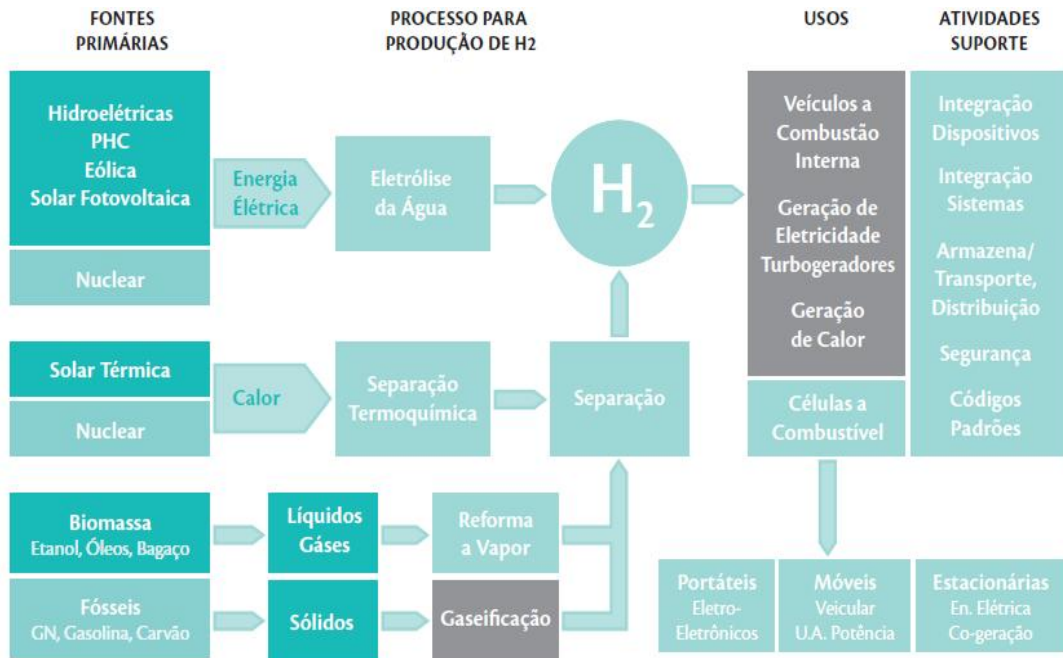


Figura 21: Possíveis rotas para a produção e utilização do hidrogênio como vetor energético. Fonte: CGEE (2010).

A atual produção de hidrogênio mundial anual é em torno de  $5 \times 10^{11} \text{ Nm}^3$ , o que corresponde a cerca de 2% da demanda de energia primária. Souza (2012) afirma que quase a metade do hidrogênio usado no mundo inteiro vem de reforma a vapor de gás natural (48%), que é a rota mais econômica de matéria-prima de hidrocarboneto e a principal cadeia produtiva do hidrogênio mundo e também no Brasil. A Figura 22 traz as principais rotas de produção, indicando que 96% é produzida a partir de combustíveis fósseis (EWAN E ALLEN, 2005).

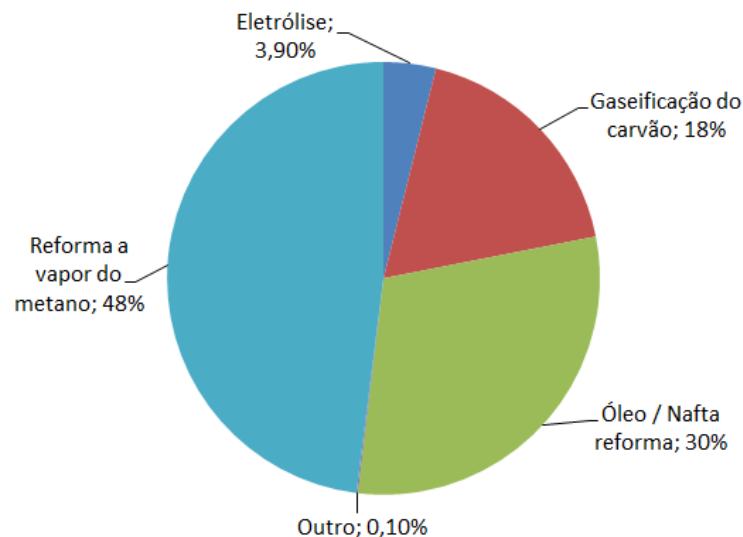


Figura 22: Distribuição de energia primária através das fontes para a produção de hidrogênio. Fonte: Adaptado de Ewan e Allen (2005).

A produção de hidrogênio em grande escala ainda é um desafio para a sua distribuição em forma de combustível, pois é necessário que haja mudanças nas formas de obtenção desse combustível. A molécula de hidrogênio ( $H_2$ ) não está presente em quantidades significativas na atmosfera ou em depósitos de gás subterrâneos, porém ele pode ser produzido em grande escala para satisfazer as necessidades industriais.

Uma das principais vantagens da utilização do hidrogênio como transportador de energia é que todos os recursos primários tais como combustíveis fósseis, fontes de energia renováveis (solar, eólica, hídrica, geotérmica, biomassa) e a energia nuclear poderiam ser utilizados para a sua produção (HOLLADAY *et al.*, 2009).

Além disso, diferentes tecnologias podem ser utilizadas com diferentes insumos para a formação da molécula de  $H_2$ , que são melhor detalhadas no Quadro 9. As tecnologias comerciais atualmente existentes podem ser divididas em quatro categorias: (i) eletroquímica; (ii) fotobiológica; (iii) fotoeletroquímica e (iv) termoquímica (HARYANTO *et al.* 2005). Os diferentes processos também podem ser divididos em: (i) térmico, (ii) eletrolítico e (iii) processos fotocatalíticos.

De forma geral, os processos de produção de hidrogênio considerados importantes marcos globais pelo governo brasileiro são a reforma a vapor do etanol, reforma do gás natural, gaseificação da biomassa e eletrólise da água. As escolhas são feitas analisando o custo-benefício da produção. Vale ressaltar que a reforma a vapor de hidrocarbonetos, em particular do gás natural, é ainda hoje o principal processo industrial para a produção de hidrogênio (ARMOR, 1999). A Figura 23 traz a logística do combustível hidrogênio, baseada nas características das fontes primárias de energia (BRASIL, 2005).

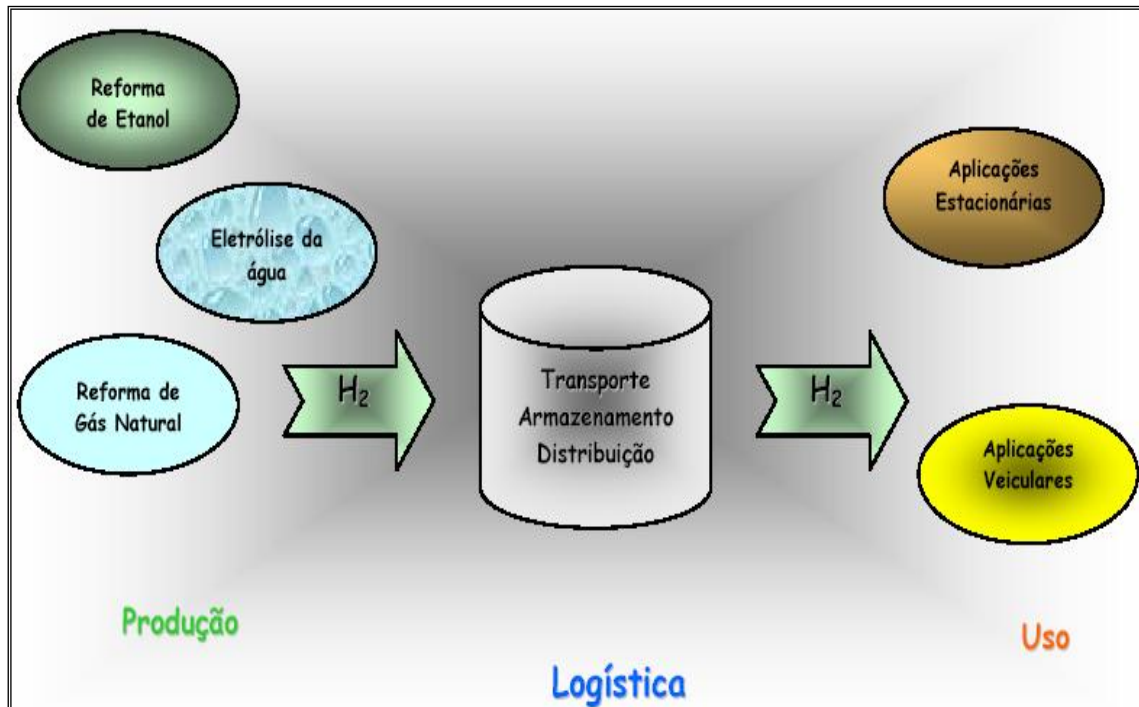


Figura 23: Esquema representativo da função logística em um sistema energético.  
Fonte: Brasil (2005).

No Brasil, o principal processo de produção de  $H_2$  é a reforma a vapor do gás natural, sendo tecnologia comprovada no país. A tecnologia em prática da reforma de gás natural é atrativa para produção de grandes quantidades de hidrogênio. Segundo o Roteiro Beta (BRASIL, 2005), esta tecnologia está em desenvolvimento (crescimento) no Brasil. Por isto, o gás natural continuará sendo ao longo das próximas duas décadas, a principal fonte geradora do hidrogênio. Já a eletrólise por método convencional encontra-se em fase de crescimento no país, ou seja, com mudança na base do conhecimento e eletrolisador avançado está em fase embrionária, o que quer dizer que há uma mudança acelerada na base do conhecimento.

A reforma do etanol é uma tecnologia em fase embrionária de desenvolvimento tanto no Brasil como no exterior, apesar de as tecnologias para produção da cana-de-açúcar e do etanol serem maduras e bem desenvolvidas no Brasil, além de apresentarem competitividade frente a outros países. Não existem tecnologias de catalisadores de reforma do etanol em escala comercial (BRASIL, 2005).

Quadro 9: Tecnologias e insumos aplicados ao hidrogênio como vetor energético.

Tecnologia	Insumo	Pontos Fortes	Pontos Fracos	Recomendações
Reforma com vapor <sup>i,ii</sup>	Gás Natural <sup>iii,iv,v</sup>	. tecnologia consolidada (principal processo de produção de H <sub>2</sub> ) . alta eficiência térmica (>80%) <sup>vi</sup> . possui maior quantidade relativa de H <sub>2</sub> em relação ao CO no gás produzido (H <sub>2</sub> /CO=3) . produção de H <sub>2</sub> com 99,95% de pureza	. alto consumo energético (reação endotérmica) . alto custo operacional . grande emissão de CO <sub>2</sub> (devido á queima de combustíveis para aquecer o vapor) . desativação de catalisadores do processo por deposição de coque <sup>vii</sup>	. desenvolvimento de catalisadores mais resistentes à desativação . utilização de menor temperatura reacional (<800°C) visando minimizar o consumo energético . desenvolvimento de catalisadores com maior atividade em menor temperatura
	Etanol <sup>viii,ix,x</sup>	. menor temperatura reacional que no caso do gás natural . utiliza recurso natural renovável (cana de açúcar →etanol)	. pode gerar reações paralelas (decomposição, desidrogenação e desidratação) . o processo ainda não é bem descrito na literatura	. implantar tecnologia em grande escala
Reforma com CO <sub>2</sub> <sup>xi,xii,xiii</sup>	Gás Natural	. pode ser implantada em unidades de reforma pré-existentes, onde haja produção de CO <sub>2</sub> , convertendo-o em H <sub>2</sub> . custo total de operação e investimento inferior a reforma a vapor <sup>xiv</sup> . menor emissão de CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> na atmosfera	. menor razão H <sub>2</sub> /CO (produzido em relação a reforma vapor) H <sub>2</sub> /CO=1 . maior risco de desativação do catalisador que na reforma a vapor <sup>xv</sup> . poucas plantas em operação	. desenvolvimento de catalisadores mais resistentes à desativação . desenvolvimento de catalisadores com maior atividade em menor temperatura
Oxidação parcial não catalítica <sup>xvi,xvii,xviii</sup>	Hidrocarbonetos (gás natural ou óleo pesado)	. não é necessário utilizar catalisador . aplicável para frações residuais de petróleo	. no caso de óleo pesado requer dessulfurização . a alta viscosidade do óleo pesado dificulta a sua vaporização . alta temperatura e pressão . é feita com O <sub>2</sub> puro, aumentando o custo . gás inerte produzido tem baixa razão H <sub>2</sub> /CO (=2)	
Oxidação parcial catalítica <sup>xix,xx,xxi</sup>	Gás Natural	. não necessita aquecimento (reação exotérmica) . aumento do tempo de vida do catalisador	. utiliza O <sub>2</sub> puro (alto custo)	
	Etanol	. recurso natural renovável	. maior dificuldade de controle da reação devido à liberação de energia . menor rendimento em H <sub>2</sub> . diluição do produto em caso de utilização de ar como agente oxidante . alta inflamabilidade	
Reforma autotérmica <sup>xxii,xxiii,xxiv</sup>	Gás Natural	. menores custos operacionais que os demais processos . mais adequado para a tecnologia GTL (gás to liquid) que os outros <sup>xxv</sup> . maior aproveitamento energético	. menor razão H <sub>2</sub> /CO que a reação de reforma a vapor (=2) <sup>xxvi</sup>	
Reatores de membrana <sup>xxvii,xxviii,xxix</sup>	Gás Natural	. maiores conversões de CH <sub>4</sub> . menores temperaturas (<200°C) . menor formação de coque . maior seletividade, baixa demanda energética, maior flexibilidade operacional e de projeto <sup>xxx</sup>	. alta pressão . alto custo da membrana, baixo fluxo de gás <sup>xxxi</sup>	
Conversão direta em condições não oxidativas <sup>xxxii,xxxiii,xxxiv</sup>	Gás Natural	. consome menor quantidade de energia que a reforma a vapor . o carbono produzido pode ser gaseificado com vapor d'água produzindo hidrocarboneto.	. rápida desativação do catalisador por coque	
Eletrólise <sup>xxxv,xxxvi,xxxvii</sup>	Água	. produz H <sub>2</sub> de alta pureza	. alto consumo de energia elétrica	
Foto eletroquímico <sup>xxxviii,xxxix,xl</sup>	Água	. utiliza energia solar para produzir eletricidade	. toxidez dos produtos de arsênio produzidos pelo fotoeletrodo	
Termoquímico (termólise da água) <sup>xli,xlii,xliii</sup>	Água	. Mais compatível com outras rotas que utilizam fontes renováveis (processo fotoeletroquímico)	. necessita de fonte de calor superior a 2500K . necessita uma técnica efetiva para separar H <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> (mistura explosiva) <sup>xliv</sup>	. separação entre os produtos e o agente circulante e o desenvolvimento de material resistente a altas temperaturas)

Biofotólise direta <sup>xlv, xlvii</sup>	Algas verdes	. alta eficiência teórica . utiliza água como substrato . não há necessidade de produção de ATP  <sup>21</sup>	. sensibilidade das enzimas hidrogenases ao O <sub>2</sub> . necessita iluminação . sofre inibição pelo O <sub>2</sub>	
Biofotólise indireta (cianobactérias) <sup>xlviii, xlix, l</sup>	Água + cianobactérias	. mecanismo simples e pouco dispendioso (baixo custo) . microorganismos crescem em ambientes contendo sais minerais simples . utiliza água como substrato . possui habilidade em fixar N <sub>2</sub>	. alto custo energético . necessita iluminação . necessidade de ATP . altos custos energéticos . presença de CO <sub>2</sub> no gás produzido	
Fotofermentação <sup>li, lii, liii</sup>	Água	. não tem atividade para evolução de O <sub>2</sub> . capacidade de usar um longo espectro de luz . capacidade de consumir substratos orgânicos derivados de rejeitos . pode usar como substrato diferentes resíduos e efluentes . habilidade de usar um amplo espectro de luz	. baixa eficiência de conversão da energia solar . necessita de fotobioreatores anaeróbicos com grande área exposta a luz solar . necessita iluminação . presença de CO <sub>2</sub> no gás produzido . altos custos energéticos	
Fermentação no escuro <sup>liv, lv, lvi</sup>	Água	. não necessita iluminação . não depende de O <sub>2</sub> (processo anaeróbico) . produz subprodutos com ácidos orgânicos que possuem valor comercial . ampla variedade de fontes de carbono como substrato . produz metabólitos valiosos como subprodutos . processo anaeróbico, não há inibição pelo O <sub>2</sub>	. produz biogás contendo H <sub>2</sub> e CO <sub>2</sub> , mas também CH <sub>4</sub> , CO e H <sub>2</sub> S . o resíduo da fermentação deve ser tratado para evitar poluição ambiental	
Gaseificação <sup>lvii, lviii, lix</sup>	Biomassa	. utiliza como matéria prima um recurso natural não renovável . processo altamente eficiente (alta eficiência e alta conversão de C)	. o gás produzido precisa ser condicionado para remoção de impurezas e alcatrão	. implantar tecnologia em grande escala

Fonte: Elaborado a partir de: <sup>i</sup>Santos *et al.*, 2004; <sup>ii</sup> Souza, 2012; <sup>iii</sup> Izquierdo *et al.*, 2012; <sup>iv</sup> Lisboa, *et al.*, 2005; <sup>v</sup> Nieva, 2014; <sup>vi</sup> Rostrup-Nielson, 2002; <sup>vii</sup> Dybkjaer, 1995; <sup>viii</sup> Contreras *et al.*, 2014; <sup>ix</sup> Hou *et al.*, 2015; <sup>x</sup> Bej *et al.*, 2014; <sup>xi</sup> Teuner, 1985; <sup>xii</sup> Udergaard *et al.*, 1992; <sup>xiii</sup> Froment, 2000; <sup>xiv</sup> Pena *et al.*, 1996; <sup>xv</sup> Gadalla e Bower, 1998; <sup>xvi</sup> Xinwen Zhou *et al.* (2010); <sup>xvii</sup> Li *et al.* (2013); <sup>xviii</sup> Wenyuan Guo *et al.* (2012); <sup>xix</sup> Passos *et al.* (2005); <sup>xx</sup> Melchiori *et al.* (2014); <sup>xxi</sup> Morales *et al.* (2014); <sup>xxii</sup> Lisboa *et al.* (2011); <sup>xxiii</sup> Ruiz *et al.* (2008); <sup>xxiv</sup> Ruiz *et al.* (2007); <sup>xxv</sup> Aasberg-Petersen *et al.* (2003); <sup>xxvi</sup> Santos *et al.* (2010); <sup>xxvii</sup> Armor (1995); <sup>xxviii</sup> Saracco *et al.* (1994); <sup>xxix</sup> Chen *et al.* (2008); <sup>xxx</sup> Aasberg-Petersen *et al.* (1998); <sup>xxxii</sup> Sanchez e Tsotsis (1996); <sup>xxxiii</sup> Muradov (2001); <sup>xxxiv</sup> Xu *et al.* (2003); <sup>xxxv</sup> Aboul-Gheit *et al.* (2012); <sup>xxxvi</sup> Kwak *et al.* (2014); <sup>xxxvii</sup> Kobayashi *et al.* (2014); <sup>xxxviii</sup> Wang *et al.* (2014); <sup>xxxix</sup> Kim *et al.* (2013); <sup>xl</sup> Girginer *et al.* (2009); <sup>xli</sup> Brudnik *et al.* (2007); <sup>xlii</sup> Baykara e Bilgen (1989); <sup>xliii</sup> Baykara e Bilgen (1989); <sup>xliiii</sup> Baykara (2004); <sup>xliv</sup> Steinfield (2002); <sup>xlv</sup> Miura (1995); <sup>xlvi</sup> Scoma *et al.* (2012); <sup>xlvii</sup> Hoshino *et al.* (2013); <sup>xlviii</sup> Azwar *et al.* (2014); <sup>xlix</sup> Dasgupta *et al.* (2010); <sup>l</sup> Eroglu e Melis (2011); <sup>li</sup> Abo-Hashesh *et al.* (2013); <sup>lii</sup> Keskin e Hallenbeck (2012); <sup>liiii</sup> Keskin *et al.* (2011); <sup>liv</sup> Saady (2013); <sup>lv</sup> Wicher *et al.* (2013); <sup>lvi</sup> Wong *et al.* (2014); <sup>lvii</sup> Ni *et al.* (2006); <sup>lviii</sup> Khan *et al.* (2014); <sup>lix</sup> Uddin *et al.* (2007).

<sup>21</sup> Adenosina Trifosfato

Os métodos de extração do hidrogênio proveniente da biomassa, que apresentam maior viabilidade para o Brasil, são a gaseificação e a biodigestão ou decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Os reformadores de biogás compactos são atualmente a tecnologia de reforma disponível e contempla grandes plantas industriais para gás natural, enquanto a configuração distribuída demanda pequenas unidades. Os gaseificadores de leito fixo apresentam tecnologia madura. Os de leito fluidizado e o gaseificador catalítico estão em desenvolvimento tecnológico embrionário. Dessa forma, assinalam para oportunidades comerciais futuras nesta área de conhecimento (ROTEIRO BETA, 2005).

Quanto à qualidade do hidrogênio (hidrogênio de alta pureza), a reforma do gás natural produz  $H_2$  com 99,95% de pureza. A eletrólise da água produz  $H_2$  de alta pureza. Quanto à gaseificação da biomassa, os gaseificadores de 2ª geração, que fazem a gaseificação da biomassa em leito fluidizado, ainda não estão voltados nem para a maximização do conteúdo de hidrogênio nos gases produzidos, nem para a pureza necessária à sua utilização em CaC (CHEN *et al.*, 2013; ROTTAVA, 2013).

Já as pesquisas em CaC estão em desenvolvimento no Brasil desde o final da década de 70. O governo brasileiro iniciou suas ações concretas na área apenas em 2002. Num sistema de célula a combustível, a utilização do hidrogênio puro traz vantagens como não necessitar de reformadores (equipamento utilizado para extrair o hidrogênio de uma fonte deste combustível, tal como o gás natural), diminuindo o tamanho e custo do sistema, além de não contaminar as membranas e eletrodos que são sensíveis a alguns compostos.

Para ser utilizado numa célula a combustível, o gás natural passa pelo processo de reforma a vapor para se obter o hidrogênio. O etanol é uma fonte de energia, que se aplicado em CaC, possibilita uma eficiência energética melhor que a utilizada hoje e com praticamente nenhuma emissão de poluentes.

Quando o etanol é usado em uma célula a combustível, pode gerar além de energia, importantes contribuições ambientais, além de abrir novos mercados com a geração distribuída e com aplicações avançadas em sistemas de transporte. Por este motivo, a indústria do etanol está começando a ter um papel mais importante nos mercados futuros. As CaC com etanol usado diretamente são conhecidas como DEFCs – Direct Ethanol Fuel Cells/Etanol Direto. No Brasil, assim como nos EUA, existem estudos procurando viabilizar a utilização do etanol nas CaCs, mas ainda estão em fase de desenvolvimento.

O Brasil possui um programa nacional de pesquisa e desenvolvimento para a tecnologia de célula a combustível e hidrogênio - o Programa Brasileiro de Sistemas a Célula a Combustível, que identifica grupos de pesquisas e sugere um trabalho em rede. Novas

empresas já apresentam produtos para esta nova tecnologia (Electrocell, Unitech e Novocell, entre outras). O IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) tem desempenhado um importante papel no cenário nacional para o desenvolvimento desta tecnologia (LINARDI, 2008).

A tecnologia mais utilizada nas plantas estacionárias tem sido a de ácido fosfórico (PAFC, *phosphoric acid fuel cell*, com 255 plantas instaladas, totalizando 51 MW), quase todas fabricadas pela empresa americana UTC Fuel Cells. No Brasil, existem três plantas estacionárias de células PAFC em operação, duas no Paraná e uma no Rio de Janeiro, com potência de 200 kW cada uma. Todas são alimentadas com gás natural que é reformado a hidrogênio; uma quarta planta localizada no Paraná aguarda comissionamento (SOUZA, 2005).

As células estacionárias restantes são de membrana polimérica eletrolítica (PEMFC, *polymer electrolyte membrane fuel cell*), carbonato fundido (MCFC, *molten carbonate fuel cell*) e óxido sólido (SOFC, *solid oxide fuel cell*). Os primeiros ônibus a hidrogênio foram construídos com células de ácido fosfórico (PAFC), porém atualmente todos os projetos utilizam PEMFC (WENDT *et al.*, 2000). A conquista de mercado de CaC dos tipos PEMFC e SOFC está intimamente relacionada com a redução de custos de fabricação em geral, tanto dos módulos como dos sistemas (CGEE, 2010).

A próxima seção apresentará os processos considerados como prioridade para o Brasil, a saber, reforma do etanol e uso da biomassa (Marco Global I), eletrólise da água (Marco Global II), reforma do gás natural (Marco Global III) e processos alternativos (Marco Global VI) (BRASIL, 2005).

### **5.3.1 Tecnologias de produção de hidrogênio**

Aproximadamente 96% do hidrogênio produzido no mundo provém de hidrocarbonetos de origem fóssil. Através da reforma a vapor do gás natural são produzidos cerca de 48% do hidrogênio, o petróleo e o carvão são responsáveis por 30% e 18% da produção, respectivamente. A eletrólise é responsável por 4% dessa produção (DOE, 2002; LIPMAN, 2004).

#### **5.3.1.1 Gaseificação da Biomassa**

A gaseificação é o método que pode converter qualquer tipo de material orgânico, tal como o carvão ou outros derivados de biomassa. Nos últimos anos, vários métodos de produção de hidrogênio a partir de materiais de biomassa têm sido investigadas (SAXENA *et al.*, 2008; ORECCHINIE e BOCCI, 2007).

A gaseificação é um processo de conversão termoquímica de um combustível (sólido ou líquido) realizada a altas temperaturas, na faixa de 850 - 1500°C. É uma combinação dos processos térmicos: combustão, pirólise e gaseificação ocorrendo ou não simultaneamente dentro de um gaseificador (ALDERUCCI *et al.* 1993). O produto principal é um gás combustível composto de CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, traços de hidrocarbonetos pesados, água, nitrogênio e várias outras substâncias - pequenas partículas de coque, cinza, alcatrão, ácidos e óleos, que são consideradas contaminantes (BAIN, *et al.* 2002). A composição desse gás de síntese varia em função do tipo de biomassa e do processo de gaseificação. (SORDI, 2009. p. 2).

Nos gaseificadores, os materiais derivados da biomassa são convertidos, obtendo-se uma mistura gasosa de hidrogênio, do monóxido de carbono, dióxido de carbono e outros compostos, mediante a aplicação de calor sob pressão, na presença de vapor e uma quantidade controlada de oxigênio, muito semelhante ao processo de gaseificação do carvão. Por outro lado, o gás de síntese produzido pode ser reformado para maximizar a produção de hidrogênio, mas também pode alimentar uma central elétrica acoplada a uma unidade de eletrólise (KORONEOS *et al.*, 2008).

Existem diferentes métodos de produção de hidrogênio a partir de biomassa. Em especial, a biomassa proveniente de resíduos orgânicos oferece uma maneira econômica, ambientalmente favorável para a produção de hidrogênio renovável (NI *et al.*, 2006). Geralmente, o sorgo doce – biomassa a partir de culturas energéticas - pode ser usado como matéria-prima para a produção de biohidrogênio (ANTONOPOULOU, 2008). No que tange à biomassa, o Brasil direciona-se para a produção de hidrogênio a partir do bioetanol (LINARDI, 2008).

Entretanto, vale ressaltar que o uso da biomassa para a geração de hidrogênio é atrelada à região na qual há oferta de determinada matéria prima. Os processos que utilizam resíduos agropecuários para obtenção de hidrogênio são limitados a regiões com intensa atividade pecuária. Já o emprego do bagaço de cana-de-açúcar para produção de energia depende das regiões onde existam usinas de álcool/açúcar com sistema de produção e



distribuição refletindo no baixo custo de produção, baixa toxicidade, elevado teor de hidrogênio e oferta elevada (NAVARRO *et al.*, 2007).

O conceito industrial atual para gaseificação de biomassa é condicionado por vários problemas, isto é, heterogeneidade da disponibilidade de material, altos custos relativos, transporte do material de alimentação e uma percentagem relativamente baixa de eficiência térmica devido ao custo de vaporização da umidade contida na biomassa.

### 5.3.1.2 Reforma a vapor do Etanol

O Brasil detém todas as condições básicas para expandir a produção de cana-de-açúcar e seus derivados para quantidades significativamente acima dos níveis atuais. Considerando a produção anual de etanol no Brasil, o processo de reforma do etanol pode produzir cerca de 1,8 milhões de toneladas de hidrogênio. O país, por ser líder mundial na produção e exportação de etanol pode se tornar também um grande produtor de hidrogênio a partir de etanol. As características do etanol o tornam uma fonte prioritária de hidrogênio, produzido através de reforma junto ao consumidor, ou até mesmo sendo utilizado diretamente em CaC (BRASIL, 2005).

Para Forge (2007), o etanol possui algumas propriedades não ideais, como por exemplo, sua afinidade pela água, o que torna custoso o processo de destilação e dificulta seu transporte por tubulações. Além disso, é corrosivo e evapora facilmente.

O etanol pode sofrer reforma a vapor, resultando na produção de misturas de hidrogênio e monóxido ou dióxido de carbono, em reações fortemente endotérmicas. A reforma do etanol requer temperaturas mais baixas (cerca de 400°C) do que a reforma de hidrocarbonetos leves. No entanto, uma série de reações paralelas pode acontecer simultaneamente com a reforma do etanol, gerando subprodutos indesejáveis, como o etenol, que é um precursor do coque (SOUZA, 2009).

Souza (*Op. Cit.*) ainda afirma que o caminho reacional envolvido durante a reforma do etanol é fortemente dependente do catalisador utilizado. Por isso a escolha do catalisador é fundamental para se obter altas conversões de etanol e também alta seletividade a hidrogênio.

O etanol de cana-de-açúcar é uma fonte de hidrogênio renovável, de armazenagem simples e não tóxico. Isso torna o etanol uma fonte prioritária de hidrogênio, produzido através de reforma junto ao consumidor, ou até mesmo sendo utilizado diretamente em CaC. A produção de hidrogênio a partir do etanol ainda não é um processo estabelecido

comercialmente no Brasil. Aliás, o reformador de etanol é uma tecnologia em fase embrionária no Brasil e exterior. Institutos de pesquisas estão desenvolvendo catalisadores de reforma e investindo em projetos de demonstração de sistemas de reforma de etanol para fins energéticos (BRASIL, 2005). No Brasil, o etanol possui um futuro bastante promissor como combustível alternativo, inclusive para a geração de hidrogênio (SOUZA, 2009).

### 5.3.1.3 Eletrólise da água

Quando é necessário hidrogênio de maior pureza, é comum recorrer-se a um processo eletroquímico, chamado eletrólise, onde o hidrogênio é produzido a partir da água. Neste processo faz-se passar uma corrente elétrica pela água e, na presença de eletrodos que permitem a transferência de elétrons, separa-se a água em oxigênio e hidrogênio, sem qualquer emissão de gases poluentes.

Todo processo desenvolvido em sistema químico onde as reações são desencadeadas a partir da aplicação de uma força eletromotriz gerada por uma fonte de tensão externa a esse sistema é chamado de Eletrólise. O fornecimento de tensão e corrente é feito através de eletrodos, entre os quais existe um meio condutor iônico que pode ser líquido ou sólido (SOUZA, 2009).

O processo de eletrólise da água é importante para o país porque será utilizado para a produção de grandes volumes de hidrogênio, preferencialmente próximo a grandes consumidores finais dentro de conglomerados urbanos, onde o energético será utilizado contínua e diariamente. O hidrogênio produzido por este processo será utilizado tanto para fins energéticos quanto industriais (insumo químico), abrindo a possibilidade da co-utilização do hidrogênio.

Apesar da disponibilidade energética, a eletrólise da água tem uso limitado no Brasil devido ao alto custo de produção do hidrogênio quando comparado ao processo de reforma de gás natural, e sua utilização para equilibrar a produção de energia elétrica de fontes renováveis variáveis, em especial a energia solar fotovoltaica e a eólica, substituindo acumuladores eletroquímicos (baterias) em geração distribuída (SOUZA, 2009).

Existem dois tipos de tecnologia para produção de hidrogênio a partir da eletrólise da água: eletrólise convencional e avançada. A mais comumente utilizada é a de eletrolisadores convencionais. De acordo com Souza (2009), na eletrólise convencional utiliza-se uma solução eletrolítica como meio condutor iônico e distingue-se essencialmente por suas

maiores dimensões e menores densidades de corrente, além do uso de materiais convencionais, como estruturas de aço-carbono e diafragmas de asbestos. Em geral, operam entre 70-80°C e apresentam um rendimento de 70-80%.

Já eletrólise avançada caracteriza-se por eletrolisadores extremamente compactos, com altas densidades de corrente e uso de eletrólitos sólidos e catalisadores de metais nobres nos eletrodos. Em geral, operam em temperaturas de 80-120°C e apresentam rendimentos entre 80-90%.

Para a geração do hidrogênio por meio da eletrolise da água, a proposta do Roteiro Beta (BRASIL, 2005) foi aproveitar as usinas hidrelétricas a fio d'água, que, em geral, não possuem reservatórios com grande capacidade de acumulação e podem empregar essa energia para produzir o hidrogênio. Para esse processo, as barreiras estão nos custos elevados devido a necessidade de importação de eletrolisadores e seus periféricos, bem como a reduzida capacidade industrial.

A obtenção de hidrogênio por eletrólise da água é uma alternativa viável e limpa à tecnologia dominante atualmente. No entanto, a eletricidade é cara. A produção de hidrogênio por eletrólise utilizando hidroeletricidade, considerando taxas de horários de baixo consumo, custa entre US\$10,55 e US\$21,10 por milhão de BTU<sup>22</sup> (US\$10,00 a US\$20,00 por GJ<sup>23</sup>) (Departamento de Energia dos Estados Unidos, 1995). A produção de um metro cúbico de hidrogênio a partir da água requer 0,14 kilowatts-hora (kWh) de energia elétrica (ou 4,8kWh por metro cúbico), o que pode custar de três a quatro vezes mais que o gás natural reformado a vapor. À medida que o gás natural for ficando mais escasso e caro, provavelmente a eletrólise ficará competitiva.

#### **5.3.1.4 Reforma a vapor do gás natural**

A mais recente fonte energética fóssil introduzida na matriz global e que leva a fontes com menos carbono é o gás natural. A partir dele, iniciou-se o uso dos combustíveis gasosos (ROHRICH, 2008). Em se tratando de sua composição o gás natural é bastante complexo, variando em função das características do local onde foi formado sendo, em média, composto por 93% de metano, 2% de etano, 1% de propano e o restante, cerca de 4%, de compostos sulfurados e nitrogenados (ARMOR, 1999).

---

<sup>22</sup> British Thermal Units - Unidades Térmicas Britânicas.

<sup>23</sup> Gigajoule.

De acordo com Marigliano *et al.* (2001) a reforma a vapor é um processo consolidado para conversão de gás natural ou outros hidrocarbonetos e gás de síntese. O gás de síntese é uma mistura de monóxido de carbono e hidrogênio. Em particular, a reforma a vapor produz uma mistura de  $H_2$  e CO que pode ser usado diretamente para a síntese de metanol ou alcoóis superiores, e por síntese de Fischer-Tropsch. O gás natural é o mais adequado à produção de  $H_2$  em função do seu maior conteúdo relativo de hidrogênio e também porque as reservas mundiais comprovadas de gás natural já excedem as de petróleo e vem crescendo mais rapidamente do que essas, tendência que deve ser mantida nesse século (SOUZA, 2012).

O metano ( $CH_4$ ) é o principal componente do gás natural e para gerar hidrogênio é necessário a quebra do metano (SOUZA, 2012). Na reforma a vapor, o metano reage seletivamente com o vapor d'água, em presença de um catalisador baseado em níquel metálico suportado em alumina, para produzir uma mistura de monóxido de carbono e hidrogênio, conhecido como gás de síntese.

Em plantas convencionais, a produção de hidrogênio é realizada em reformadores como mostrado na Figura 24. O metano ou o gás natural é alimentado a um sistema de purificação para que compostos de enxofre sejam retirados. Uma corrente de vapor d'água é misturado a ele após a sua purificação, e após alimentado ao reformador. A saída deste reformador segue para outro reator, chamado de reator de deslocamento, onde o monóxido de carbono produzido anteriormente reage com vapor d'água produzindo hidrogênio e dióxido de carbono, seguindo finalmente para uma unidade de purificação.

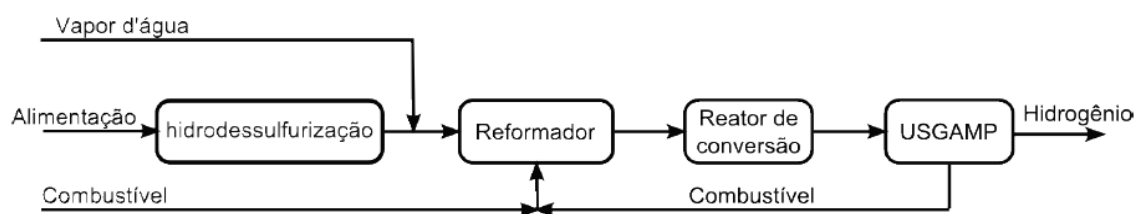


Figura 24: Processo convencional de reforma a vapor de metano para produção de hidrogênio. Fonte: Souza (2012).

Odell (2004), ao se basear-se nas vantagens do gás natural em relação ao petróleo e ao carvão, concluiu que o gás será o combustível do século XXI, assim como o carvão o foi no século XIX e o petróleo no século XX.

A maneira mais economicamente viável para se produzir hidrogênio é pela reforma de vapor do gás natural. Para alguns pesquisadores as fontes não-renováveis são consideradas

uma solução intermediária até a efetiva inserção das renováveis (VERIZOGLU, 1987; THOMAS *et al.*, 1998; DANTE, 2002; CHERRY, 2004; IEA, 2004).

O gás natural, na produção de hidrogênio, é usado como gás combustível para os queimadores do forno reformador, além de servir como insumo no processo. A água também é usada nesse processo para geração do vapor (água desmineralizada) e nos trocadores de calor (água de resfriamento) (CRUZ, 2010).

Quando produzido, possui a maior quantidade de energia por unidade de massa que qualquer outro combustível conhecido: 52.000 BTU por libra (ou 120,7 kilojoules por grama), ou seja, cerca de três vezes mais calor por libra que o petróleo estando em seu estado líquido.

O custo para produzir hidrogênio, segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos (1995), estava em US\$7,39 por milhão de BTU (US\$7,00 por GJ) em plantas de grande escala em 1995. Este cálculo assume o custo do gás natural de US\$2,43 por milhão de BTU (US\$2,30 por GJ). Isto equivalente a US\$0,93 por galão (US\$0,24 por litro) de gasolina.

Já Cruz (2010), em seu estudo, afirma que para um custo de gás natural igual a 9,11 US\$/GJ (preço pelo qual a Petrobrás repassa o gás natural para as distribuidoras), o custo de produção de hidrogênio foi igual a 17,36 US\$/GJ (2.093,13 US\$/t) para o valor atual (custo corrente – 2010) e 25,35 US\$/GJ (3.056,97 US\$/t) para o valor nivelado (produção total prevista ao longo da vida útil da planta), em uma planta de 1.200.000Nm<sup>3</sup>/dia de capacidade. Como o hidrogênio como combustível possui um poder calorífico superior (PCS) de 3.050 kcal/Nm<sup>3</sup> e poder calorífico inferior (PCI) de 2570 kcal/Nm<sup>3</sup>, logo essa planta geraria respectivamente 3.660.10<sup>6</sup> kcal/dia e 3.084.10<sup>6</sup> kcal/dia. Convertendo para kWh, por dia, teríamos respectivamente 4 256 580 kWh e 3 586 692 kWh de geração.

O custo anual total da matéria-prima usada para a produção de hidrogênio através da reforma a vapor do gás natural é de US\$ 67.349.937,29 (soma do gasto anual de US\$ 65.419.158,86 com o consumo de gás natural para a produção do hidrogênio e para alimentação do forno reformador, mais os gastos anuais de US\$ 1.751.524,48 com água desmineralizada na produção de hidrogênio e, por fim, o gasto anual de US\$ 179.253,94 com a água de resfriamento que entra no processo). O valor total do custo com a matéria-prima corresponde a pouco mais de 57% do valor total investido na construção da planta (CRUZ, 2010).

O gás natural apresenta duas condições concretas para elevar a sua participação na matriz energética mundial. A primeira delas reside no fato de que as reservas provadas cresceram 114% entre 1980 e 2007, saltando de 82,5 trilhões de m<sup>3</sup> para 177 trilhões de m<sup>3</sup>. Entre 1980 e 2007, a produção e o consumo médios de gás natural cresceram de quatro para

oito bilhões de m<sup>3</sup>/d, ou quase 100%. Segundo, o crescimento cada vez maior da comercialização do gás natural sob a forma liquefeita, o chamado GNL. A tecnologia de liquefazer o gás natural e posteriormente gaseificar transformou o gás natural em *commodity*, abrindo novos mercados consumidores. Do total dos 2,1 bilhões m<sup>3</sup>/d de gás comercializados internacionalmente em 2007, 30% já foram transportados utilizando embarcações de transporte de GNL (COSTAMILAN, 2009). A Figura 25 mostra a distribuição das reservas comprovadas de gás natural no mundo, onde observa-se que a maior parte das reservas estão localizadas no continente asiático.

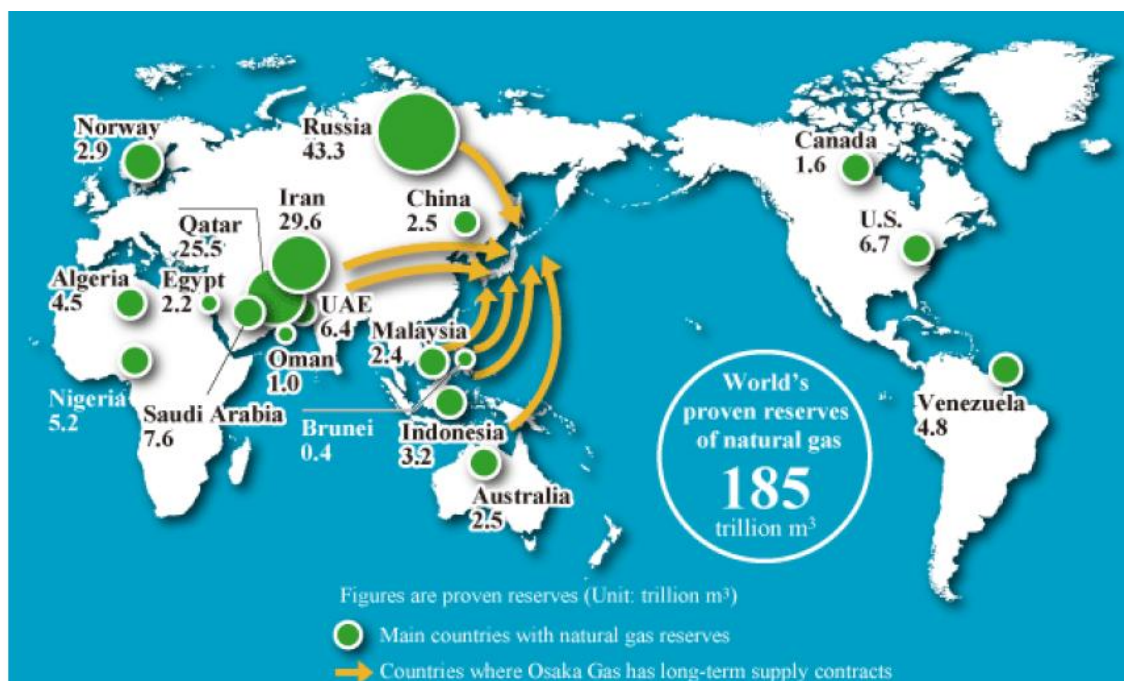


Figura 25: Distribuição mundial das reservas de gás natural.  
Fonte: BP, BP Statistical Review of World Energy (2009).

No Brasil, também existem grandes oportunidades para que o gás natural aumente a sua participação na matriz energética. Como já mencionado nessa dissertação, o gás natural já representa 12,8% da matriz energética brasileira (MME, 2014). A projeção da matriz energética brasileira para 2020 contempla um aumento da participação do GN para 14,4% enquanto o petróleo, apesar de continuar tendo um peso expressivo, diminuirá sua participação para 31,8%, em 2020 (MARQUES, 2012).

O gás natural começou a ser explorado no Brasil juntamente com o petróleo, a partir de 1939, e esteve atrelado a este desde então, até a construção do gasoduto Brasil-Bolívia em 1999. O aumento do consumo do gás ocorreu depois do apagão elétrico de 2000-2001, com a construção de termelétricas movidas a gás natural (CEMIG, 2012). Com o esgotamento dos melhores potenciais hidráulicos do país e a construção do gasoduto Bolívia-Brasil, o gás

natural tornou-se uma escolha importante para a imprescindível ampliação da competência de geração de energia elétrica (ANEEL, 2002). A diminuição da dependência do gás de origem boliviana, com a chegada da alternativa do GNL, cria uma condição sustentável para permitir o crescimento adicional da oferta (COSTAMILAN, 2009).

Entre 2001 e 2007, a demanda de gás natural no país cresceu a uma taxa média de 9,4% a.a. e passou de 28 para 48 milhões m<sup>3</sup>/d, nove vezes mais do que em 1974. As taxas de crescimento significativas atingidas foram alavancadas pelos mercados de gás industrial e automotivo. Estes se tornaram os principais vetores de desenvolvimento do gás natural no Brasil e permitiram o crescimento marcante do energético na demanda primária de energia (COSTAMILAN, 2009).

Existe uma concentração da demanda de gás natural no setor industrial, seguido pelo de geração elétrica. Em menor escala, estão os setores automotivo, residencial e comercial, (ANP, 2010). É tempo de desenvolver outros usos para o gás natural que representem oportunidade para aumentar a eficiência energética e diminuir os impactos ambientais, como a co-geração e utilização de gás natural em sistemas de refrigeração, entre outros (COSTAMILAN, 2009).

O autor também afirma que o país a construiu uma estratégia bem sucedida de diversificação de suprimento através da implantação de terminais de GNL. Ao mesmo tempo, novas descobertas nas áreas chamadas de pré-sal das bacias de Santos - SP e Campos dos Goytacazes - RJ abrem perspectivas de aumento de oferta de gás doméstico no médio/longo prazo. A possibilidade de novas reservas significativas de gás natural cria uma alternativa realista de aumento da oferta interna.

O país possui reservas de cerca de 331,9 bilhões de m<sup>3</sup> de gás natural, o que representa 0,2% do total mundial. A maior parte (63% das reservas) encontra-se no mar (REIS *et al.*, 2005). De acordo com Goldemberg & Lucon (2007), as reservas de gás natural brasileira são 33% superiores às de 2003 e equivalem a dezenove anos da atual produção. É o sexto produtor da América Latina. Atualmente, o país possui 51 termelétricas a gás natural em 11 Estados.

A produção de gás natural da Petrobras, no Brasil, em dezembro de 2014, excluindo o volume liquefeito, foi de 73 milhões 515 mil m<sup>3</sup>/dia (Tabela 2). Os resultados, tanto da produção própria quanto da operada foram, também, importantes recordes mensais. Vale ressaltar que, em dezembro, 94,6% desse gás foi aproveitado pela empresa, seja para fornecimento ao mercado, para geração de energia nas plataformas, ou para reinjeção nos reservatórios para elevar a produção de óleo.

Tabela 2: Produção de gás natural de Outubro a Dezembro de 2014.

PRODUÇÃO	Média 14	Dez 14	Nov 14	Out 14
Produção de gás natural sem liquefeito (Mm³/d) (3)				
Brasil	67.826,5	73.515,3	70.775,8	72.039,8
Mar	51.105,7	56.498,0	53.804,6	55.120,8
Bacia de Campos	24.909,2	27.181,3	26.419,1	26.723,7
Outras	26.196,5	29.316,7	27.385,5	28.397,1
Terra	16.720,7	17.017,3	16.971,2	16.919,0
Internacional	15.873,1	15.022,0	14.554,6	16.630,8
Consolidada				
AMERICA DO SUL	15.465,2	14.652,6	14.114,5	16.182,6
AMERICA DO NORTE	362,0	342,1	413,9	418,2
Não-Consolidada				
AMERICA DO SUL	45,9	27,3	26,1	30,0
Produção total de gás natural sem liquefeito (Mm³/d)	83.699,5	88.537,3	85.330,4	88.670,5
Produção total de gás natural (Mboe/d)	520,0	550,8	530,8	551,0
Produção total de óleo e LGN (Mbpd)	2.150,20	2.311,70	2.210,00	2.244,20
Produção total de óleo, LGN e de gás natural (Mboe/d)	2.670,3	2.862,5	2.740,9	2.795,2

1 - Produção Consolidada refere-se à produção proveniente das empresas controladas pela Petrobras.

2 - Produção Não-Consolidada refere-se à produção proveniente de empresas onde a Petrobras detém participação, mas não o controle.

3 - Os valores de gás mencionados excluem o volume liquefeito para produzir LGN e o volume sem aproveitamento comercial.

Fonte: PETROBRÁS (2015).

A título de comparação, a produção total de dezembro de 2014 de gás natural informada à ANP foi de 550,8 Mboe/dia<sup>24</sup>, o que está acima da média de 2014 que foi de 520,0 Mboe/dia. O gráfico 2 traz as produções de óleo, LGN e de gás natural de outubro a dezembro de 2014 assim como as respectivas médias.

<sup>24</sup> Milhões de barris de óleo equivalente por dia.



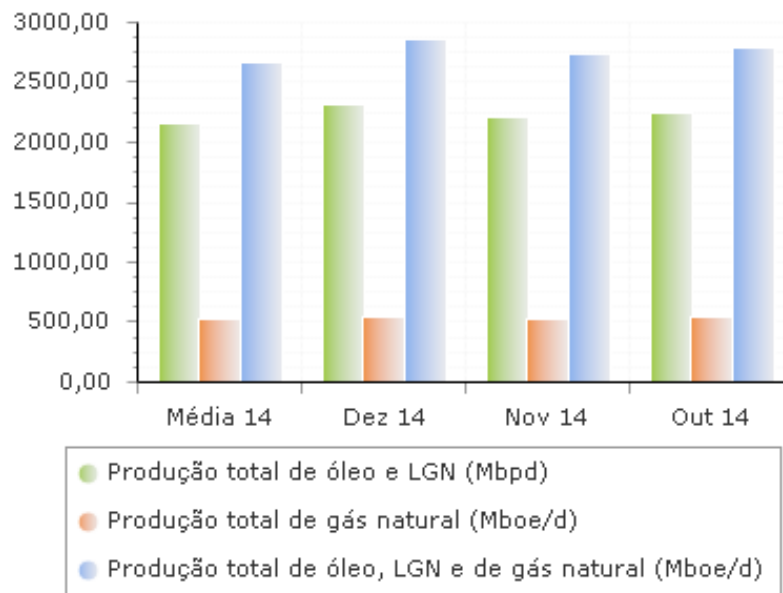


Gráfico 2: Produção de Gás natural.  
Fonte: PETROBRÁS (2015).

Portanto, observa-se que o regime energético vigente está fundamentado em combustíveis fósseis e, ao observar a extensão das reservas e dos recursos para os combustíveis fósseis, estes não se esgotarão em breve (JACCARD, 2005). Adicionalmente, a importância do gás natural na matriz energética é grande e, muito provavelmente, deve continuar a crescer nas próximas décadas. Com a adoção crescente do gás natural, juntamente com as fontes renováveis de energia, grande parte dos problemas decorrentes das emissões de GEE poderá ser amenizada. Odell (2004) sustenta que as baixas emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de energia suprida pelo gás natural, comparada com o carvão e o petróleo, fazem do gás o combustível de carbono preferido, podendo assim reprimir a taxa de crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> antropogenicamente criadas em aproximadamente 15%.

A princípio, mesmo não sendo um regime estritamente diferente baseado nas fontes renováveis de energia e independente de combustíveis fósseis, Jaccard (2005) ressaltou que é possível usar os combustíveis fósseis de maneira limpa, reduzindo os impactos ambientais.

Quanto ao uso do gás natural para obtenção do hidrogênio, apesar de não renovável, atualmente a reforma do gás natural é mais vantajosa e competitiva, pois além de ser considerada uma tecnologia madura a nível mundial, apresenta melhor desempenho tecnológico até o momento, além de ser bastante atrativa e viável economicamente para a produção em larga escala (adequada aos sistemas de muitos MW<sup>25</sup>). Apesar das projeções do Roteiro Beta (BRASIL, 2005), a única cadeia produtiva vigente no país é o hidrogênio

<sup>25</sup> Megawatt

produzido industrialmente a partir da reforma a vapor do gás natural, não existindo uma cadeia já estabelecida para o hidrogênio como vetor energético.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos na pesquisa, tomando como ênfase a análise do setor produtivo de hidrogênio no Brasil, suas pesquisas e as células a combustível. O desenvolvimento de um novo mercado e a contribuição para a Economia do Hidrogênio dar-se-á mediante a participação gradual da indústria nacional de bens e serviços nos diferentes elos da cadeia, a saber: produção dos insumos, conversão, transporte, armazenamento, distribuição e utilização do energético.

Nas seções seguintes, a maneira como os “direcionadores de competitividade” e seus indicadores, selecionados para exame, impactam a dinâmica de funcionamento dessa cadeia produtiva foi descrita e analisada por meio dos agentes inseridos nessa cadeia. Logo, a análise desses direcionadores avalia a competitividade de uma cadeia produtiva e seus elos de produção.

### **6.1 Resultados a partir da revisão bibliográfica**

#### **6.1.1 Cadeia Produtiva do Hidrogênio**

Através de uma revisão bibliográfica, um possível sistema produtivo do hidrogênio no Brasil pode ser representado na Figura 26 com seus agentes e ministérios envolvidos.

Atualmente, não existe uma cadeia de suprimento do hidrogênio energético no Brasil. Tal inexistência representa uma barreira que necessita ser removida para que se possa desenvolver o mercado de hidrogênio em ritmo que confira ao Brasil competitividade para aproveitar as oportunidades decorrentes da implantação da nova economia.

O panorama brasileiro é favorável ao desenvolvimento das tecnologias de produção de hidrogênio de forma sustentável. Mas para isso são necessários maiores investimentos do setor público e privado e também maiores incentivos governamentais tanto aos grupos de pesquisa quanto ao setor produtivo relacionado a cadeia de produção de hidrogênio.

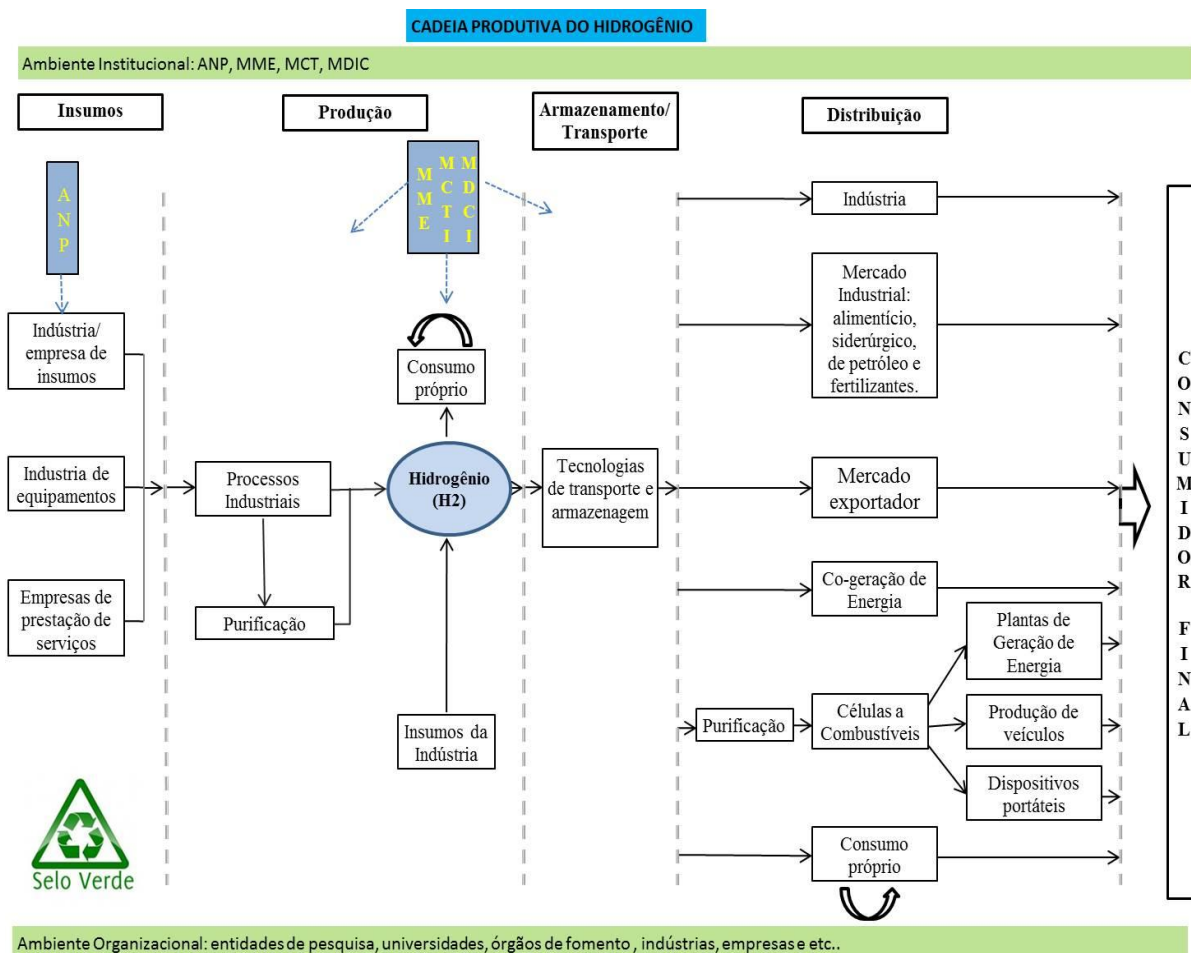


Figura 26: Proposta de Cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil.

### 6.1.2 Direcionadores

A dinâmica de funcionamento da cadeia produtiva do hidrogênio é descrita e analisada através dos direcionadores selecionados para exame e os agentes inseridos nessa cadeia. A análise desses direcionadores avalia a competitividade de uma cadeia produtiva e seus elos de produção. Os direcionadores selecionados para análise estão descritos nos subitens a seguir.

#### 6.1.2.1 Tecnologia

De acordo com o CGEE (2010), o Brasil é líder em PD&I em tecnologias de hidrogênio na América Latina, dispondo de diversos grupos de pesquisa e empresas de base tecnológica. Diversas tecnologias avançadas para a produção de hidrogênio são exploradas no

Brasil utilizando variados processos e insumos. Alguns dos projetos de produção de hidrogênio no Brasil a partir de fontes renováveis podem ser identificados na Figura 27.

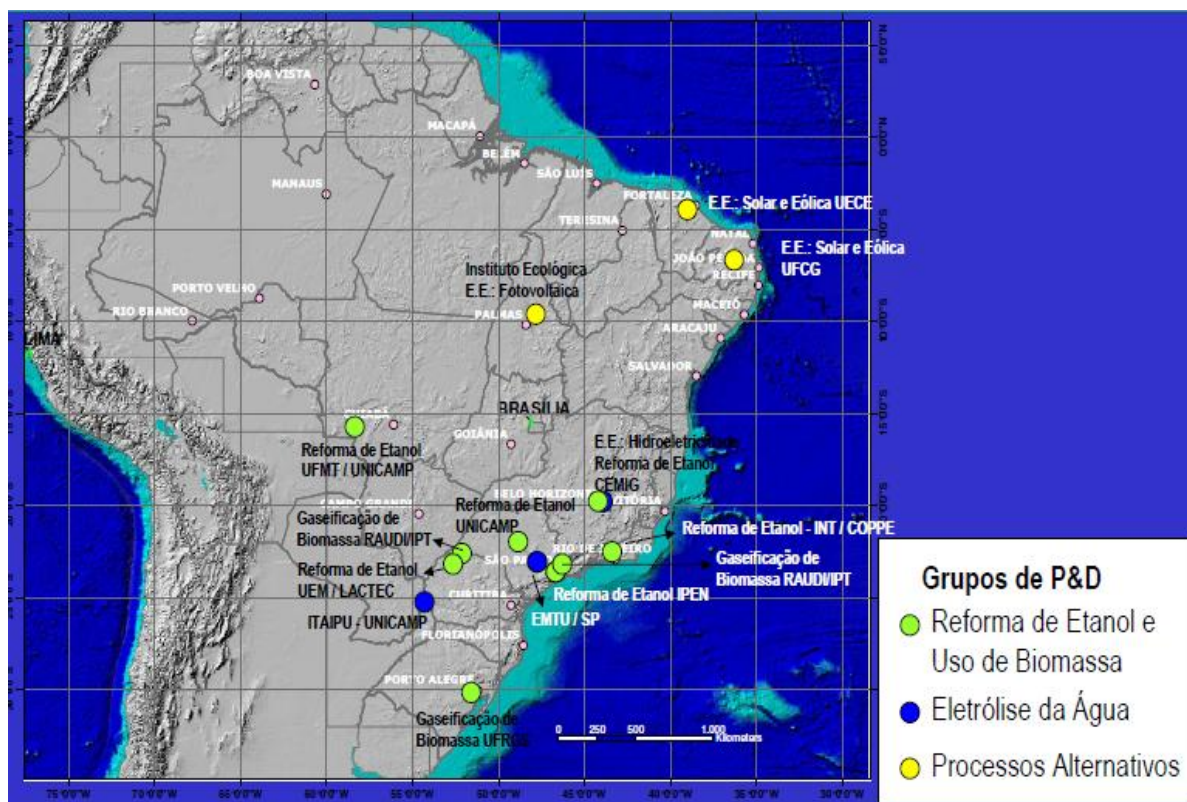


Figura 27: Levantamento preliminar – projetos de produção de H<sub>2</sub> a partir de fontes renováveis.  
Fonte: Araújo (2008).

Segundo o Roteiro Beta (BRASIL, 2005), os projetos de demonstração em geração estacionária de energia e veicular em andamento no Brasil são financiados por grandes empresas públicas ou privadas do setor de energia, entre elas: PETROBRAS, COPEL, CHESF, AES ELETROPAULO, CEMIG, CPFL e ELETROBRAS. Tais projetos podem melhorar a interação entre grupos de PD&I e empresas da área de tecnologias do hidrogênio, incentivando o deslocamento da pesquisa básica em direção à pesquisa aplicada das atividades de PD&I desenvolvidas no Brasil, além de contribuir para o incremento da durabilidade (vida útil) e para redução dos custos de produção dos materiais, dispositivos, componentes e sistemas.

Já é possível a obtenção do hidrogênio no país através de vários tipos de combustíveis, tanto fósseis como renováveis. Os processos considerados nos programas nacionais são: eletrólise da água (desde a década de 70), reforma a vapor de etanol (desde a década de 80) e gaseificação de biomassa (desde a década de 90) (BRASIL, 2005). Porém, como combustível fóssil, o gás natural está em fase tecnológica avançada no país.

Os avanços tecnológicos da reforma a vapor do gás natural reduziram significativamente os custos de produção e elevaram a economicidade os projetos (GASNET, 2010). Dessa forma, dentre os processos, até então conhecidos, a reforma do gás é uma tecnologia mais em conta quando se fala em escala de produção (CGEE, 2010). Isso se justifica pelo fato de que a infraestrutura para receber o gás natural na refinaria já está pronta, sendo os custos de implantação do processo de reforma do gás um adicional que pode ser considerado pequeno, frente ao custo de instalação da refinaria, pois a tecnologia já está disponível no mercado. Além disso, seu uso permite variados e inovadores processos tecnológicos de atendimento direto ao uso final e realiza este atendimento com baixíssimas restrições ambientais (VAZ, 2007).

As atividades de desenvolvimento tecnológico da reforma a vapor do gás natural em andamento são: desenvolvimento de novos catalisadores mais eficientes e robustos; desenvolvimento de novos materiais para os reatores; integração energética; desenvolvimento de novos projetos dos reatores; desenvolvimento da reforma autotérmica. Os institutos de pesquisa em parceria com empresas estão desenvolvendo catalisadores de reforma e realizando projetos de demonstração de sistemas de reforma de etanol para fins energéticos (BRASIL, 2005). Entretanto, apesar dos esforços no desenvolvimento, dependendo das características próprias de cada uso final, tecnologia de aplicação, local e país, muitos outros combustíveis podem realizar o atendimento energético e competir em condições de igualdade com ele.

Outra opção é o uso de biomassa para produção de hidrogênio. Contudo, para avançar no desenvolvimento da gaseificação da biomassa é necessário: realizar estudos sobre o uso de biomassas sólidas e líquidas no gaseificador; realizar esforços para automatizar o processo de gaseificação e realizar o desenvolvimento de catalisadores capazes de remover o alcatrão proveniente do processo e resistentes à ação do enxofre (CGEE, 2010).

Segundo Botton (2007), a eletrólise não polui, é um processo simples, que não precisa passar por muitas etapas, porém é uma tecnologia ainda em estudo e cara, sendo necessário fornecer energia elétrica para que ocorra a quebra da molécula da água. Novos materiais e condições de operações de eletrólise da água estão sendo pesquisados para que sua utilização seja economicamente viável.

Embora o processo de eletrólise convencional da água seja dominado no exterior, não existem equipamentos nacionais e o país tem dado pouca ênfase à PD&I nesse item. Tal fator tende a ser desfavorável para o desenvolvimento dessa cadeia, pois, considera-se que grande parte do hidrogênio que abastecerá os veículos com células a combustível será

produzida a partir da eletrólise da água. Ainda, alguns estudos procuram melhorar a produção por eletrólise da água. Há uma concentração de esforços nas áreas de: i) células a combustível de membrana condutora de prótons (PEMFC); ii) células a combustível de óxido sólido (SOFC) e; iii) catalisadores e sistemas para reforma de etanol (CGEE, 2010).

Quanto às células a combustível, o seu uso e seu aprimoramento permitiu que a perspectiva de aplicação fosse além dos sistemas estacionários atingindo o setor de transportes como em ônibus, em automóveis, barcos, geradores entre outros para redução dos GEE. O rendimento de um motor a gasolina está entre 13% a 25%. Já o motor a diesel fica entre 30% a 35% e a CaC possui uma eficiência na faixa de 48% a 60%. Quando potencial para aquecimento for aproveitado, o sistema poderá obter uma eficiência de até 80%. Como um motor elétrico alcança um rendimento de 95%, o conjunto motor elétrico e CaC poderá render de 45% a 76%, o que é uma quantidade bem superior aos motores a combustão interna (GOMES NETO, 2005).

O autor ainda afirma que o sistema de CaC será competitivo para o setor automotivo quando o custo deste sistema for de 50 dólares por KW. Em seu histórico, em 2003 o custo estava em 270 dólares por KW para uma produção estimada de 500 mil veículos por ano. Já no ano de 2005 o custo estimado foi de 110 dólares por KW. Tais dados vem de encontro aos custos relacionados aos combustíveis fósseis: enquanto o custo para o uso de CaC decresce, os combustíveis fósseis estão aumentando (GOMES NETO, 2005).

Alem disso, os sistemas atuais de CaC que estão em desenvolvimento variam de 1 a 4 kW. Além disso, possuem uma razão eletricidade-calor alta. Dessa forma, para se tornarem competitivos nos setores comercial e residencial, seus custos de capital devem ser reduzidos para US\$ 1.350/kW (IEA, 2006). Esses custos de capital estabelecidos são para CaC do tipo PEM e da ordem de US\$ 3.000 -4.000/kW (LIPMAN *et al.*, 2004). Há uma recente tecnologia de CaC com grande potencial de utilização no Brasil, a qual utiliza etanol diretamente, sem a necessidade de reforma, chamada DEFC (*Direct Ethanol Fuel Cell*) (GOSMANN, 2006).

Nesse sentido, a EH vem ao encontro do desenvolvimento das tecnologias de células a combustível, associada à sua viabilização econômica (GASNET, 2010). É possível identificar um cenário em que o hidrogênio energético tem bons prospectos de aumento progressivo de seu uso na matriz energética global. Já foram desenvolvidos protótipos de veículos de passeio e projetos de ônibus, porém, ainda não há ônibus ou veículos de carga em circulação (CHUM, 2002). No que diz respeito às patentes sobre hidrogênio, as depositadas em âmbito nacional no INPI, algumas tratam de processos para produção de hidrogênio por diferentes matrizes, enquanto outras buscam otimizar processos já existentes. Segundo

Moreira *et al.* (2013), as patentes depositadas para processos de produção de hidrogênio, que datam de 1980 a 2009, estão representadas na Figura 28.

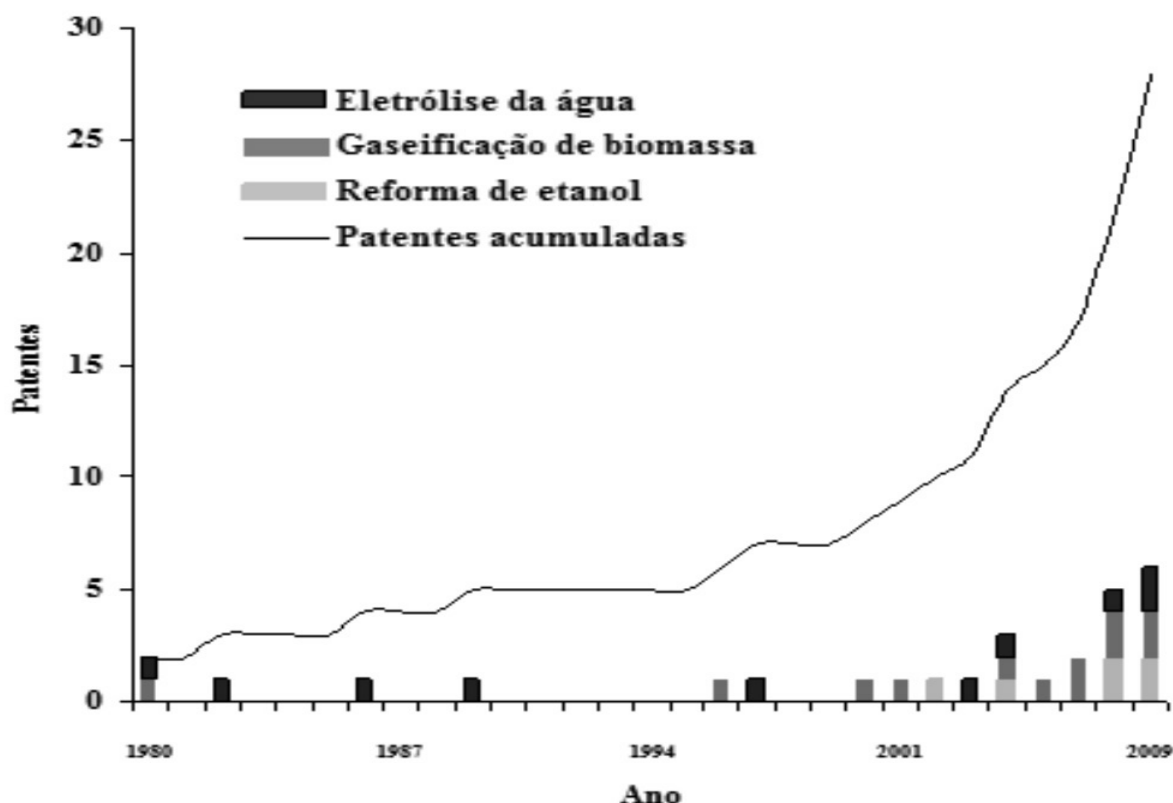


Figura 28: Patentes sobre produção de hidrogênio, depositadas no INPI.  
Fonte: Moreira *et al.* (2013)

Existem vários trabalhos realizados em instituições de pesquisa em todo o Brasil sobre a produção de hidrogênio a partir da reforma a vapor do etanol, o que contribuiu significativamente no desenvolvimento de métodos de melhoria dos processos de reforma, além de um aumento no número de patentes depositadas. As patentes depositadas referentes aos processos de gaseificação da biomassa para produção de hidrogênio evoluíram a partir da década de 90. Essa evolução em processos de gaseificação de biomassa deve-se à quantidade de matrizes de biomassa distintas e ao desenvolvimento, por instituições de pesquisas, de gaseificadores para fins de atividades comerciais (MOREIRA *et al.*, 2013).

Para manter o desenvolvimento tecnológico nacional de forma a acompanhar os desenvolvimentos realizados no exterior, o Brasil deve equilibrar os investimentos em pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimentos, inclusive com a verificação das necessidades de empresas que podem ser atendidas pelos grupos nacionais de P&D. As instituições capacitadas para tal são: MCTI, MME, CNPq, FAPs, CAPES, FINEP, ANP, ANEEL.



Quanto ao programa desenvolvido pelo MCTI, o ProH2 (ProH<sub>2</sub>, 2002), esse apresentada como uma de suas diretrizes gerais a criação e operação de redes cooperativas de PD&I, abrangendo universidades, institutos de pesquisa, centros de pesquisa, incubadoras e empresas, além de apoio para a revitalização e melhoria da infraestrutura de pesquisa das instituições envolvidas no ProH<sub>2</sub> (CGEE, 2010). Dessa forma, espera-se um maior comprometimento do ministério com o investimento em desenvolvimento de tecnologias no setor.

Ainda, por mais que o Brasil seja o único país que participa como parceiro do IPHE na América Latina, isto não serve como vantagem competitiva em âmbito internacional. Para que isso ocorra, assim como no Japão e Estados Unidos, é preciso um investimento em pesquisas e desenvolvimento em toda infraestrutura (RAFFI *et al.*, 2013).

O Quadro 10 apresenta, em síntese, os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Tecnologia, apontados pela literatura.

Quadro 10: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Tecnologia.

<b>Direcionador: Tecnologia</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liderança do país em PD&amp;I em tecnologias de hidrogênio na América Latina;</li> <li>• Diversidade de tecnologias e insumos;</li> <li>• Possibilidade de obtenção do hidrogênio no país através de vários tipos de combustíveis, tanto fósseis como renováveis;</li> <li>• Dispõe de diversos grupos de pesquisa e empresas de base tecnológica;</li> <li>• Projetos de demonstração em geração estacionária de energia e veicular em andamento no Brasil são financiados por grandes empresas públicas ou privadas do setor de energia (BRASIL, 2005);</li> <li>• A reforma do gás natural está em fase tecnológica avançada no país. A tecnologia já está disponível no mercado;</li> <li>• Em termos de escala de produção, a reforma do gás tem menor preço pois: a infraestrutura para receber o GN na refinaria já está pronta, sendo os custos de implantação do processo de reforma do gás um adicional que se pode ser considerado pequeno, frente ao custo de instalação da refinaria;</li> <li>• Processos tecnológicos de atendimento direto ao uso final com baixíssimas restrições ambientais (D'Ajuz et al., (1989);</li> <li>• Desenvolvimento de protótipos de veículos de passeio e projetos de ônibus, a partir do uso de células a combustível;</li> <li>• Evolução das patentes depositadas para produção de hidrogênio (Moreira <i>et al.</i>, 2013).</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inexistência de equipamentos nacionais para a eletrólise da água e o país tem dado pouca ênfase à PD&amp;I nesse item;</li> <li>• Investimentos reduzidos que atrasam o desenvolvimento tecnológico;</li> <li>• Ausência na matriz energética brasileira;</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento de novos catalisadores mais eficientes e robustos; desenvolvimento de novos materiais para os reatores; integração energética;</li> <li>• Desenvolvimento de novos projetos dos reatores e desenvolvimento da reforma autotérmica;</li> <li>• Realizar estudos sobre o uso de biomassas sólidas e líquidas no gaseificador;</li> <li>• Realizar esforços para automatizar o processo de gaseificação e realizar o desenvolvimento de catalisadores capazes de remover o alcatrão proveniente do processo e resistentes à ação do enxofre;</li> <li>• Levantar oportunidades de montagem de redes de inovação nacionais e internacionais;</li> <li>• Detalhar todos os projetos que existem e os que serão oferecidos;</li> <li>• Necessidade de alcançar uma tecnologia que obtenha um preço final atrativo para o consumidor;</li> <li>• Equilibrar os investimentos em pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimentos, inclusive com a verificação das necessidades de empresas que podem ser atendidas pelos grupos nacionais de P&amp;D.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação e operação de redes cooperativas de PD&amp;I abrangendo universidades, institutos de pesquisa, centros de pesquisa, incubadoras e empresas;</li> <li>• Apoio para a revitalização e melhoria da infraestrutura de pesquisa das instituições envolvidas no ProH<sub>2</sub>;</li> <li>• Redução significativa, através dos avanços tecnológicos, dos custos de produção a fim de elevar a economicidade dos projetos;</li> <li>• É preciso um investimento em pesquisas e desenvolvimento em toda infraestrutura, desde de insumos até a distribuição final (RAFFI <i>et al.</i>, 2013);</li> <li>• Equilíbrio nos investimentos em pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimentos;</li> <li>• Incentivo ao deslocamento da pesquisa básica em direção à pesquisa aplicada das atividades de PD&amp;I desenvolvidas no Brasil.</li> </ul>

### 6.1.2.2 Insumos e Infraestrutura

Ainda que não seja o estágio final ou definitivo, o gás natural surge como a melhor alternativa para realizar de forma ordenada e segura a transição da sociedade industrial atual para a E.H., baseada em insumos e processos ambiental e economicamente sustentáveis (VIEIRA *et al.*, 2005). Isso se justifica pelo fato do gás natural ser uma fonte de energia

relativamente abundante (SOUZA, 2009), de o Brasil possuir grandes investimentos em exploração e produção em gás natural e que a maioria das plantas de hidrogênio é instalada em lugares onde o fornecimento já existe (GASNET, 2010).

O gás natural é uma fonte de energia rica em hidrogênio. Os maiores teores de carbono são encontrados no gás natural não-associado<sup>26</sup> (BRASIL, 2002). Possui uma composição predominante em metano, um hidrocarboneto com a relação de um átomo de carbono para quatro átomos de hidrogênio, o que favorece a menor formação de CO<sub>2</sub>, em relação à combustão de outros combustíveis. A reforma do gás natural é um dos processos mais eficientes de produção de hidrogênio, pois gera um considerável aproveitamento de 70 a 80% de conversão (LONGO *et al* 2008) e possui maior quantidade relativa de H<sub>2</sub> em relação ao CO no gás produzido (H<sub>2</sub>/CO=3). A reforma a vapor do gás natural ocorre, além de condições de alta temperatura (cerca de 650-950°C), em superfícies catalíticas – platina ou níquel (mais barato). O catalisador de níquel suportado em  $\alpha$  – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é o mais usado da reforma de hidrocarbonetos leves (LISBOA *et al.*, 2005), porém possuem um tempo de vida limitado, tanto por quebras quanto por desativação.

Contudo, se o pico global da produção de gás natural ocorrer por volta de 2020, como predizem alguns geólogos, será necessário descobrir outros métodos de produzir hidrogênio ou utilizar um combustível renovável como o etanol – álcool da cana-de-açúcar, e esta deverá ser a principal aposta brasileira. Além disso, o processo ainda libera CO<sub>2</sub>, que precisaria ser capturado. O processo não é tão eficiente quanto o uso de gasolina (TIMPANARO, 2006). O hidrogênio produzido a partir do gás natural só será uma energia mais eficiente se as tecnologias associadas forem divulgadas, tendo suas aplicações um papel fundamental na educação industrial futura.

Quanto ao hidrogênio produzido através do etanol da cana-de-açúcar, o Brasil apresenta reais vantagens competitivas para tornar-se líder na produção do hidrogênio de origem renovável, por dispor de clima e solo adequados à cultura da cana-de-açúcar e extensas áreas disponíveis ao seu plantio. O país conta com tempo suficiente para investir em programas de pesquisa básica e aplicada voltados não só aos usos finais do hidrogênio, mas, principalmente, à sua produção através do etanol (BRASIL, 2005). Nesse sentido, a reforma de etanol é um processo adequado para produção distribuída de quantidades intermediárias de hidrogênio, com intervalo estimado de 50 m<sup>3</sup>/h a 500 m<sup>3</sup>/h. Estima-se que a partir da produção

---

<sup>26</sup> O termo associado é usado quando o gás natural é encontrado em reservatórios que contêm proporções significativas de petróleo.

atual de álcool no Brasil é possível se obter 1,8 milhões de toneladas de hidrogênio (CENEH, 2004).

A energia necessária na reforma do etanol é o vapor a altas temperaturas (cerca de 400°C), porém mais baixas que a reforma do gás natural. O caminho reacional da reforma do etanol é fortemente dependente do catalisador usado. Os catalisadores com maior atividade para a reforma do etanol são o Rh (ródio) e Ni (níquel). O Rh possui baixa atividade para a reação *shift*, que é uma etapa importante para a remoção do CO formado. Já o Ni representa uma excelente escolha como catalisador para a reforma do etanol, pois, além de menor custo, são considerados eficientes tendo altos rendimentos para a formação de H<sub>2</sub> (BARANDAS, 2009).

Já a biomassa é uma matéria-prima ainda em crescimento no Brasil. Entretanto, em função de sua biodiversidade, o país possui grandes oportunidades para a utilização da biomassa como matéria-prima. Os processos de produção de hidrogênio a partir de derivados de biomassa, como glicerol e bio-óleos, permitem o aproveitamento de subprodutos de baixo valor agregado, diversificando as fontes de hidrogênio. Estas tecnologias, embora promissoras, ainda apresentam muitos gargalos tecnológicos.

Segundo Souza (2009), o rendimento de H<sub>2</sub> a partir da biomassa é baixo devido ao seu baixo conteúdo de H (6%) e possui baixo conteúdo energético (> 40% de conteúdo de O). Os catalisadores empregados na reforma do metano (de níquel), são usados na reforma de bio-óleos, em condições operacionais adequadas. É necessário investimentos em pesquisas para desenvolver catalisadores para a eliminação do alcatrão. A gaseificação da biomassa exige uma temperatura mínima para que ocorra a reação do carbono com ar, oxigênio, vapor d'água, dióxido de carbono, ou uma mistura destes gases.

A produção de hidrogênio através da eletrólise da água terá um papel muito importante em países que possuem grande potencial renovável para produção de energia elétrica, como é o caso do Brasil. A eletrólise da água (processo de extração o hidrogênio da molécula de água (H<sub>2</sub>O) é o processo mais versátil de produção de hidrogênio, pois podem ser construídos equipamentos para geração de gás puro numa faixa de 0,5 L/min a 100.000 m<sup>3</sup>/h. O processo de eletrólise da água pode ser realizado por eletrólise convencional, que operam geralmente entre 70-80°C, e por eletrólise avançada, que operam em temperaturas de 80-120°C. A eficiência atual desse processo é de 75%, possui grande energia em sua combustão e libera apenas vapor d'água como subproduto, sendo, por isso considerado um processo limpo (salvo os métodos usados para obter a energia elétrica que ser a armazenada no H<sub>2</sub>) (TIMPANARO, 2006).

Contudo, a eletrólise faz uso da eletricidade (cerca de 4,5-5 KWh/m<sup>3</sup>H<sub>2</sub>) para romper a água em átomos de hidrogênio e oxigênio. O consumo de tal energia, na maioria dos eletrolisadores industriais, torna o custo do hidrogênio produzido muito elevado além deste ceder menos energia que o total usado para sua obtenção. O custo atual da eletricidade torna esse processo de quatro a dez vezes mais caro do que utilizar gasolina (TIMPANARO, 2006).

Portanto, nenhuma tecnologia atual de produção de H<sub>2</sub> é competitiva quando comparada com o consumo de gasolina, sendo todos pelo menos quatro vezes mais caros. Além disso, o simples aprimoramentos das tecnologias já existentes também não serão suficientes, ou seja, são precisos avanços revolucionários principalmente na área de materiais e na de catalisadores (TIMPANARO, 2006).

Adicionalmente, um dos principais obstáculos para o estabelecimento da infraestrutura para a tecnologia do hidrogênio é o armazenamento e o transporte. Não se pode atualmente fazer qualquer análise da situação no mundo que não contemple uma avaliação do cenário mundial do hidrogênio, sua produção, armazenamento, distribuição e uso (CHUM, 2002). O ponto crítico está na segurança em seu manuseio, armazenamento e transporte (LINARDI, 2008). Mesmo em sua forma líquida ou combinado na forma de hidreto metálico, existe uma preocupação que impõe severas exigências de segurança (STEFANELLI, 2007). Além disso, algumas restrições existem para armazenamento de combustível em larga escala.

A logística de transporte e armazenamento de hidrogênio está intimamente ligada às estratégias de sua produção devido à possibilidade de centralizá-la ou descentralizá-la. Investimentos em hidrogênio vem aumentando nos últimos anos e esforços consideráveis tem sido aplicados aos desenvolvimento de tecnologias que exigem a construção de uma infraestrutura que dê suporte a E.H. (LU *et al.*, 2007).

Uma opção apontada para Vargas *et al.* (2006) seria armazenar o hidrogênio em tanques subterrâneos, onde se pode aproveitar a experiência obtida com o desenvolvimento de armazenamento de gás natural. No entanto, existem dificuldades quanto às características do hidrogênio.

A dificuldade para armazenar o hidrogênio no estado gasoso ou no estado líquido está no fato de que ele tem a menor densidade no estado gasoso e o segundo ponto de ebulição de todas as substâncias conhecidas. O armazenamento como gás comprimido é atualmente a forma mais simples de armazenar o hidrogênio. No estado gasoso, necessita de um sistema de armazenamento de grande volume e pressão. Quando em forma de líquido, precisa que o seu armazenamento utilize sistemas criogênicos (em alta pressão), ou seja,

sistemas que operam em baixíssima temperatura ( $-253^{\circ}\text{C}$ ) ou estar quimicamente ligados a certos metais na forma de hidretos metálicos (SILVA, 1991; HOFFMANN, 2005).

A baixa densidade do hidrogênio (gasoso ou líquido) também resulta numa baixa densidade de energia, o que faz com que o volume ou a pressão do tanque aumente, já que uma certa quantidade de hidrogênio é necessária para que um veículo atinja uma boa autonomia. Conseqüentemente, um certo volume de hidrogênio contém menos energia que o mesmo volume de qualquer combustível em condições normais de temperatura e pressão. Dessa forma, uma desvantagem é o alto peso do tanque de armazenamento e equipamentos associados, fazendo com que muitas vezes seja maior e mais pesado que aqueles utilizados para armazenar gasolina, diesel ou álcool. Mesmo existindo pesquisas para compressão de hidrogênio em cilindros que suportem altíssimas pressões (ZÜTTEL, 2003), outra desvantagem consiste na maior pressão de armazenamento, pois quanto maior, mais elevados os investimentos de capital, principalmente devido aos compressores, e maiores são os custos operacionais. Nesse sentido, o uso de células a combustível é vantajoso, pois possuem alta eficiência com relação aos motores à combustão interna, precisando de menos combustível para atingir o mesmo resultado (NORBECK, 2003; MARQUES *et al.*, 2004; BEZERRA FILHO, 2008; GODOY, 2008).

O hidrogênio líquido ocupa 700 vezes menos espaço do que em seu estado gasoso, em temperatura ambiente. Porém, é gasto mais energia para armazenar o hidrogênio líquido do que para armazená-lo em estado gasoso. Além disso, um tanque de líquido equivale energeticamente a 10 tanques de gasoso já pressurizado. Nesse sentido, no caso de grandes distâncias a serem percorridas por caminhões tanque, entre a central de produção e o consumo final, será mais viável armazenar o hidrogênio em seu estado líquido (MARQUES *et al.*, 2004; BEZERRA FILHO, 2008), porém é provavelmente a solução mais cara principalmente porque deve ser mantido a uma temperatura inferior a  $-253^{\circ}\text{C}$ .

Diversos países trabalham no desenvolvimento de sistemas utilizando materiais nano-estruturados para armazenamento de hidrogênio. Porém, essas pesquisas são praticamente inexistentes no Brasil. Já no setor de distribuição e entrega, existem os meios de transporte por tubulação (gasodutos, tubulações criogênicas e tubulações para fluidos intermediários), porém o capital de investimento é o maior empecilho à economia do hidrogênio.

A utilização de tubovias para o transporte de grandes quantidades de gás é a forma mais econômica de transporte do hidrogênio para os centros distribuidores e consumidores, visto que, em comparação, o gás natural é um produto fácil de entregar, através de tubulação,

reservatórios pressurizados ou na forma de gás natural liquefeito. A infra-estrutura de transporte de gás natural, que hoje compreende 5.688 km de extensão, experimenta acelerado processo de expansão podendo alcançar 10.315 km de gasodutos. Essa ampliação permitirá a interligação da Região Nordeste com o Centro-Sul do país, a integração energética no Cone-Sul (Brasil, Argentina e Bolívia) e a monetização das atuais reservas exploráveis de gás natural na Amazônia (CGEE, 2010).

Todavia, existem ainda severas restrições para a implantação e consolidação das tubovias no mercado de hidrogênio. Tecnicamente, os gasodutos de hidrogênio não são diferentes dos gasodutos de gás natural quando se fala em instalação e manutenção, porém a rede de hidrogênio é 300 vezes menor, além da diferença no preço. Em comparação ao custo de gasodutos de gás natural, em torno de US\$ 200.000 a US\$ 800.000 que é considerado elevado, transportar hidrogênio acaba por onerar ainda mais esse processo. Segundo a Argonne National Laboratory (ANL), as estimativas de custos de gasodutos de hidrogênio são de US\$ 300.000 a US\$ 1.4 milhão por 1,6 km dependendo do comprimento e diâmetro, de algumas funções específicas do gasoduto e do meio ambiente de construção (BONTURIM *et al.*, 2011; VARGAS *et al.*, 2006; ESPÍNOLA, 2008).

Também não é barato transportar hidrogênio liquefeito nas estradas. A título de comparação, os veículos com tanques de hidrogênio de maior capacidade podem armazenar no máximo 3.600 kg de hidrogênio, enquanto os veículos com tanques de gasolina ou petróleo podem armazenar até 30.000 kg de combustível. No Brasil, a falta de regulamentação para o transporte de hidrogênio líquido impede os investimentos necessários (BONTURIM *et al.*, 2011; VARGAS *et al.*, 2006).

Dessa forma, os custos de implantação são elevados, é baixa a disponibilidade de hidrogênio a ser transportado, além da regulamentação para a construção de tubovias ser restritiva. Para viabilizar o transporte de hidrogênio como fonte energética através de gasodutos, deve-se revisar a regulamentação nacional para construção das tubovias visando diminuir as restrições e incentivar a produção de hidrogênio junto às usinas hidrelétricas, aumentando o volume de gás disponível, tornando viável a implantação de gasodutos para o transporte aos centros consumidores (CGEE, 2010).

Uma logística de transporte, estocagem e de distribuição deve ser bem estruturada para que o combustível possa ser utilizado quer nas estações estacionárias, sobretudo para a geração de eletricidade, para aplicações veiculares, além do firmamento de parcerias Público-privadas para obras de infraestrutura, das quais a EH é dependente.

O Quadro 11 apresenta, em síntese, os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Insumos e Infraestrutura.

Quadro 11: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Insumos e Infraestrutura.

<b>Direcionador: Insumos e Infraestrutura</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existência de reservas de gás natural e investimento em etanol;</li> <li>• Altos investimentos e infraestrutura instalada na exploração e produção de gás natural;</li> <li>• O hidrogênio oriundo da eletrolise da água possui grande energia em sua combustão, além liberar apenas vapor d'água como subproduto;</li> <li>• Produção através de cogeração com hidrelétricas; Transporte:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Transporte por gasoduto ou tubulações criogênicas de H<sub>2</sub> gasoso: atinge longas distâncias; transporta grande quantidade ou fornecimento contínuo; baixo custo de operação.</li> <li>2) Transporte via gasômetro:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* H<sub>2</sub> gasoso: funcionamento simples;</li> <li>* Compostos intermediários (hidretos metálicos): mais adequados, pois tem maior densidade energética;</li> </ul> </li> <li>3) Transporte via cilindros pressurizados, caminhões tanques ou cilindros criogênicos:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* H<sub>2</sub> gasoso: mais econômico.</li> <li>* H<sub>2</sub> líquido: menor custo de capital para pequenas quantidade e grandes distâncias; maior segurança oferecida; maior densidade energética.</li> <li>* Compostos intermediários (NH<sub>3</sub> e hidretos metálicos): alta densidade energética por unidade de volume (maior segurança);</li> </ul> </li> </ol> </li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldades para armazenagem do hidrogênio tanto gasoso, líquido quanto compostos intermediários (NH<sub>3</sub> e hidretos metálicos);</li> <li>• Infraestrutura não disponível para armazenamento e transporte;</li> <li>• Baixa eficiência e vida útil limitada da célula a combustível;</li> <li>• Incerteza quanto a segurança na produção, armazenagem e distribuição do hidrogênio;</li> <li>• Custos elevados para as fontes renováveis;</li> <li>• Gargalos tecnológicos no processo de produção de hidrogênio a partir da biomassa;</li> <li>• Custos de entrada elevados tanto para o hidrogênio quanto para a célula a combustível;</li> <li>• Transporte:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Transporte por gasoduto ou tubulações criogênicas:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* H<sub>2</sub> gasoso: alto investimento de capital ( R\$ 1 milhão/km);</li> <li>* não se aplica a hidrogênio líquido ou compostos intermediários;</li> </ul> </li> <li>2) Transporte via gasômetro                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* H<sub>2</sub> gasoso: volumosos (ocupam grandes áreas);</li> </ul> </li> <li>3) Transporte via cilindros pressurizados, caminhões tanques ou cilindros criogênicos:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* H<sub>2</sub> gasoso: volumes muito menores para a mesma quantidade de gás armazenado no gasômetro; distâncias menores; durante pequeno intervalo de tempo; necessidade de uso de compressores (alto custo);</li> <li>* H<sub>2</sub> líquido: alto custo de liquefação; grandes perdas por evaporação; riscos (perda de ductilidade e resistência) a temperaturas muito baixas.</li> <li>* Compostos intermediários (NH<sub>3</sub> e hidretos metálicos): alto custo; alto tempo de recarga.</li> </ul> </li> </ol> </li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes adaptações na estrutura urbana e de transportes;</li> <li>• Divulgação das tecnologias associadas ao hidrogênio para torná-lo um energético mais eficiente;</li> <li>• Uso de energias renováveis como os diferentes tipos de biomassa disponíveis no Brasil;</li> <li>• Desenvolvimento de novos catalisadores mais eficientes e mais baratos;</li> <li>• Substituição o uso da platina por metais mais baratos na composição dos catalisadores das CaC e manter a eficiência.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimentos em programa e pesquisa básica e aplicada voltados à produção de hidrogênio através do etanol e o seu uso final;</li> <li>• Aproveitamento de produtos de baixo valor agregado como fonte de biomassa para a produção de hidrogênio;</li> </ul>



### 6.1.2.3 Gestão

Apesar da reforma a vapor do gás natural encontrar-se numa etapa bastante desenvolvida, já sendo comercializado e, possuindo, dessa forma, o menor custo de produção do hidrogênio, exigindo um sistema de purificação menos complexo (CGEE, 2010), seu custo é muito sensível ao custo do gás natural, fato que pode prejudicar a competitividade desta rota de produção.

No Brasil, algumas pesquisas apontam para a viabilidade econômica de se produzir hidrogênio a partir da água utilizando os reservatórios das grandes usinas hidrelétricas brasileiras. A ideia é produzir durante a madrugada, nos horários fora de pico, período em que a demanda por energia é baixa e de menor custo (VARGAS *et al.*, 2006; SOUZA, 2005). Todavia, os equipamentos usados na eletrólise (eletrolisadores) são caros, fazendo com que essa tecnologia, ainda em estudo, também seja elevada (BOTTON, 2007).

A produção de energia elétrica a partir do hidrogênio configura-se como uma das melhores soluções tecnológicas para a produção de energia limpa e renovável. Porém, seu elevado custo é um desafio à generalização: para aplicações em estações de energia elétrica, o preço médio em 2010 estava entre US\$ 1.125 e US\$ 1.800 por KW, enquanto que o preço ideal para comercialização é entre US\$ 1.000 e US\$ 1.500 por KW<sup>67</sup>, segundo Lube (2012).

Apesar de haver uma compensação para o preço alto, pois o único resíduo da eletrólise é o vapor d'água, o que torna essa tecnologia limpa e não poluente, os custos da eletricidade usada no processo de eletrólise da água impedem que ela concorra com o processo de reforma a vapor do gás natural e futuramente com o de etanol. A eletricidade pode custar de três a quatro vezes mais que o gás natural reformado a vapor. À medida que o gás natural for ficando mais escasso e caro, provavelmente a eletrólise ficará competitiva (VARGAS *et al.*, 2006).

Um estudo econômico mostrou que o custo do H<sub>2</sub> produzido a partir da água (por processo termoquímico: ciclo proposto por Steinfeld) varia entre U\$ 0,13-0,15/KWh. Nesse sentido, o processo seria competitivo com outras rotas baseadas em fontes renováveis, como a eletrólise utilizando a energia solar (SOUZA, 2009). Assim, para reduzir o custo do hidrogênio produzido pelos eletrolisadores de água é necessário diminuir o custo do equipamento e o consumo de eletricidade. Além disso, se diminuirmos os custos das células fotovoltaicas, de geração eólica, hídrica e geotérmica, todas estas formas de energia renováveis e livres de carbono, a eletrólise através destes métodos será uma opção também atrativa.

Adicionalmente, segundo o CGEE (2010), no Brasil há uma necessidade de um suporte maior à cadeia “metrologia, normalização, regulamentação técnica e avaliação da conformidade” e aumento da confiabilidade metrológica nas medições em sistemas de células a combustível, pois existe um volume insuficiente de normas e padrões nacionais relacionados à utilização energética do hidrogênio. Diante desse contexto, a IPHE e o ProH2, do MCTI, podem contribuir.

As normas existentes são traduções de normas *International Organization for Standardization* (ISO) e *International Electrotechnical Commission* (IEC), que possuem poucas contribuições efetivas do Brasil, embora hoje a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) seja membro votante na comissão técnica de hidrogênio da ISO e observadora da IEC. O pequeno volume de investimentos na área, entre outros efeitos, além de impedir a criação de laboratórios ou instituições de pesquisas nacionais capacitados, impedem também a certificação de todos os equipamentos e processos desenvolvidos na indústria ou a oferecer treinamento certificado em operação e segurança. Também, embora existam esforços nacionais no sentido de traduzir, adaptar e adotar as normas estabelecidas nos ambientes ISO e IEC verifica-se que existe pouca participação do Brasil na elaboração das normas internacionais (CGEE, 2010). Tal problema se torna uma barreira quanto ao desenvolvimento de tecnologias relacionadas a E.H. por empresas meramente brasileiras, já que, enquanto não houver padrões definidos, não há garantia de uso e sucesso no futuro (LORENZI e ANDRADE, 2014).

Do mesmo modo, existe uma deficiência na formação e fixação de recursos humanos nas instituições de PD&I devido, principalmente, ao fato de que boa parte dos trabalhos realizados depende de mão de obra qualificada composta de alunos de mestrado e doutorado que deixam suas instituições ao final do período de suas bolsas. Uma das diretrizes que contempla o ProH2 é o fomento à formação e treinamento de recursos humanos, com ênfase à pós-graduação no Brasil e aperfeiçoamento em centros de excelência no Brasil e no exterior (CGEE, 2010).

Portanto, existe a necessidade da criação de centros capacitados a certificar os equipamentos desenvolvidos no país a fim de atestar sua conformidade normativa e de especificação e qualidade. O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) desenvolve programas de avaliação da conformidade reconhecidos internacionalmente – que geram, entre outros produtos, a certificação e a etiquetagem –, já poderia se inserir neste contexto de necessidade de certificação (INMETRO, 2014). Adicionalmente, um importante avanço no país seria a promoção da educação e treinamento

apropriado em NCP (normas, códigos e padrões) e segurança para autoridades, reguladores, estudantes, usuários e o público em geral através de cursos e workshops específicos. Incentivar a utilização maciça da metrologia e da qualidade nas aplicações do uso do hidrogênio energético é outra necessidade.

É fato a necessidade de reduzir o custo do hidrogênio proveniente de fontes renováveis a fim de torná-lo economicamente competitivo (RAFFI *et al.*, 2013; LINARDI, 2008, BRASIL, 2005; CGEE, 2010). Logo, uma das formas de reduzir o custo do hidrogênio proveniente de fontes renováveis seria através de investimento, contemplando recursos humanos em diferentes níveis, no curto prazo, com recursos do CNPq, Finep e das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (FAPs). As seguintes áreas são prioritárias: eletrólise da água, reforma de etanol e gaseificação de biomassa. Segundo o CGEE (2010), é necessário ainda dar continuidade à formação de recursos humanos por meio de bolsas de estudos em todos os níveis (estágios, formação de técnicos, iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado). Além disso, incentivar a adequada fixação de profissionais nos locais de geração de tecnologia cobertos pelo PROH2, a manutenção das equipes e a continuidade dos projetos nas instituições participantes do programa.

O Quadro 12 apresenta, em síntese, os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Gestor.

Quadro 12: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Gestão.

<b>Direcionador: Gestão</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quanto ao custo de produção, a reforma a vapor do gás natural encontra-se numa etapa bastante desenvolvida, sendo comercializado;</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O custo de produção da reforma a vapor do gás natural é muito sensível ao custo do gás natural;</li> <li>• Preço final superior ao da gasolina;</li> <li>• Equipamentos usados na eletrólise (eletrolisadores) são caros;</li> <li>• Inexistência de normas, códigos, padrões e legislação para regulamentar as atividades de pesquisa, desenvolvimento, demonstração e comercialização da tecnologia do hidrogênio;</li> <li>• O pequeno volume de investimentos impede a criação de laboratórios ou instituições de pesquisas nacionais capacitados a certificar todos os equipamentos e processos desenvolvidos na indústria ou a oferecer treinamento certificado em operação e segurança;</li> <li>• Falta de garantia de uso e sucesso no futuro;</li> <li>• Deficiência na formação e fixação de recursos humanos nas instituições de PD&amp;I.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preço competitivo ao da gasolina;</li> <li>• Vencer a Incompatibilidade com o atual regime;</li> <li>• À medida que o gás natural for ficando mais escasso e caro, provavelmente a eletrólise ficará competitiva;</li> <li>• O processo seria competitivo com outras rotas baseadas em fontes renováveis;</li> <li>• Aumento da confiabilidade metroológica nas medições em sistemas de células a combustível;</li> <li>• Mão de obra qualificada;</li> <li>• Continuidade à formação de recursos humanos por meio de bolsas de estudos em todos os níveis;</li> <li>• Incentivo a adequada fixação de profissionais nos locais de geração de tecnologia cobertos pelo ProH2, a manutenção das equipes e a continuidade dos projetos nas instituições participantes do ProH2.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de hidrogênio a partir da água utilizando os reservatórios das grandes usinas hidrelétricas brasileiras, durante a madrugada, nos horários fora de pico;</li> <li>• Suporte maior à cadeia metrologia, normalização, regulamentação técnica e avaliação da conformidade;</li> <li>• Contribuição maior da IPHE e do ProH2 no estabelecimento de regulamentos, normas e padrões para certificação dos produtos, processos e serviços;</li> <li>• Criação de centros capacitados a certificar os equipamentos desenvolvidos no país a fim de atestar sua conformidade normativa e de especificação e qualidade</li> <li>• Formação e treinamento de recursos humanos, com ênfase à pós-graduação no Brasil e aperfeiçoamento em centros de excelência no Brasil e no exterior;</li> <li>• Promoção da educação e treinamento apropriado em NCP (normas, códigos e padrões) e segurança para autoridades, reguladores, estudantes, usuários e o público em geral;</li> <li>• Investimento, contemplando recursos humanos em diferentes níveis, no curto prazo, com recursos do CNPq, Finep e das fundações estaduais de amparo à pesquisa (FAPs).</li> </ul>

#### 6.1.2.4 Estrutura de Mercado e Governança

O tempo de atuação de uma empresa é um bom indicador de solidez na medida em que sinaliza o estágio de maturidade no qual o setor se encontra. Considerando que a tecnologia de produção de hidrogênio não é uma tecnologia nova (a produção via célula a combustível, por exemplo, é antiga, datando de mais de 150 anos, (MMA, 2014)), as maiores indústrias de gases industriais e empresas fabricantes de células a combustíveis atuam no mercado brasileiro a mais de 10 anos, o que contribui favoravelmente para a competitividade do hidrogênio no país. Contudo, o número de empresas produtoras ainda é restrito.

Por outro lado, a concentração e o poder de mercado das usinas na comercialização do hidrogênio tende a ser elevada, por ser um mercado ainda incipiente. Como as multinacionais como a White Martins, Linde Gás (AGA), Air Liquide, Air Products são as maiores produtoras de gases industriais no país, são as mesmas que ditam esse mercado. Sozinha, a White Martins, do conglomerado norte-americano Praxair, detém 63% do mercado brasileiro, com faturamento anual de R\$ 2,7 bilhões no país. Em seguida vem a francesa Air Liquide, tem um quarto das receitas da rival. Ela produz hidrogênio via *steam methane reforming* (SMR), a partir de vapor d'água e gás natural proveniente da Bolívia. A terceira e a quarta maiores são, pela ordem, a alemã Linde (AGA do Brasil) e a norte-americana Air Products. A AGA do Brasil, em 1994 tornou-se a maior fornecedora nacional de hidrogênio comercializado em carretas e conquista seu primeiro certificado ISO 9002 para a unidade de Gases do Ar de Cubatão (AZEVEDO, 2002; REVISTA PEQUENAS EMPRESAS, GRANDES NEGÓCIOS, 2010).

A Indústria Brasileira de Gases (IBG) é uma empresa nacional que produz gases industriais, inclusive o hidrogênio, e vem logo atrás (em 5º lugar) das quatro primeiras indústrias. Todas competem entre si no mercado de gases industriais. Já as grandes indústrias petrolíferas do país, além de deter o gás natural fazendo todo o processo, da exploração do gás natural à produção de hidrogênio, usam esse gás para consumo próprio, não focando o comércio, a princípio.

Além destes fornecedores, o mercado possui alguns revendedores e distribuidores que possuem bandeira de algum dos fornecedores citados neste trabalho e que possuem pequena fatia do mercado. As refinarias de petróleo, como a PETROBRAS, por exemplo, também produzem hidrogênio, sendo consideradas as maiores responsáveis pelo crescimento da produção de hidrogênio. No entanto, sua produção é realizada a partir de fontes fósseis e quase que exclusivamente para seus processos, pois utilizam o hidrogênio para produzir combustíveis a partir do hidrocraqueamento do petróleo (CGEE, 2010).

Em 2010, as cinco maiores empresas produtoras de gases industriais foram condenadas pelo CADE (Conselho Administrativo de Defesa Econômica) a pagar multa bilionária, de R\$ 2,3 bilhões, por formação de cartel. A decisão atingiu as quatro multinacionais - White Martins, Linde, Air Liquide, Air Products - e a nacional IBG (IBRAC, 2011). Com o reconhecimento do cartel entre essas empresas, o Ministério Público Federal declarou “certeza fática e técnica de seus efeitos lesivos sobre os preços praticados perante os consumidores de gases industriais e medicinais” (MPF, 2010, p. 4). Um pequeno número de

firmas, o comércio envolvendo produtos homogêneos e a formação de cartel contribuem para que esse mercado seja oligopolístico.

A produção e venda de hidrogênio no Brasil está voltado para o comércio industrial. Não há na literatura os tipos de contratos realizados por estas. Quanto ao mercado energético, as hidrelétricas, solar e outras renováveis e a energia nuclear oferecem risco à implementação do hidrogênio para fins energéticos no Brasil. Dessa forma, o poder de mercado das usinas na comercialização do hidrogênio como vetor energético é quase nulo.

O grau e volume de produção de uma empresa e/ou país é um importante fator que determina a capacidade de sustentação de um determinado setor ou empresa. Ou melhor, é um dos melhores indicadores para a medição do nível de eficiência e eficácia do mesmo.

No Brasil, o mercado de hidrogênio aproxima-se de 920 mil toneladas por ano, tendo alguns setores específicos como responsáveis por esse crescimento. Um dos principais mercados da produção de hidrogênio é a produção de amônia e intermediário de fertilizantes. Do hidrogênio produzido por ano, cerca de 50% é utilizado principalmente para a produção de fertilizantes de amônia, 37% em refinarias de petróleo (produção e melhoramento de combustíveis), 8% em indústrias químicas e 4% indústrias metalúrgicas, além da indústria alimentícia (produção de gorduras hidrogenadas). Do total, 95% do hidrogênio produzido é a partir de fontes fósseis (LU *et al.*, 2007; CGEE, 2010). Logo, praticamente toda a produção de hidrogênio é direcionada às indústrias, já que o hidrogênio produzido no país é utilizado exclusivamente como reagente em processos químicos (NICODEMOS *et al.*, 2011).

Além disso, as pesquisas para a aplicação do hidrogênio como energia são mais voltadas para as indústrias, não existindo demanda do hidrogênio como energético, sobretudo no mercado residencial.

Dessa forma, apesar da grande quantidade produzida, apenas uma pequena parcela do hidrogênio gerado como subproduto de processos químicos é utilizada com finalidades energéticas, notadamente para produção de calor em aplicações locais (CGEE, 2010).

Do hidrogênio com aplicações energéticas, estima-se que a produção de 5.000 m<sup>3</sup>/ano seja consumida totalmente nos projetos de demonstração. Isso porque nas aplicações energéticas geralmente são utilizados os próprios combustíveis para gerar energia, sem necessidade de realizar o processo de produção do hidrogênio (CGEE, 2010). Segundo previsão do Departamento de Energia dos EUA, o H<sub>2</sub> deve contribuir em 8-10% do mercado total de energia em 2025, podendo atingir 35% no ano de 2050. Contudo, o mercado para o hidrogênio energético é incipiente, principalmente porque o hidrogênio não pode competir economicamente com outras opções energéticas estabelecidas há longo tempo no mercado.

Como a produção de hidrogênio para uso industrial já existe, sua tecnologia é bem conhecida e já dominado pelas indústrias produtoras, principalmente os processos via reforma a vapor do gás natural. Os processos de conversão utilizados rotineiramente pelas empresas brasileiras do setor petroquímico são a reforma autotérmica e reforma a vapor, onde este último processo encontra-se numa etapa bastante desenvolvida, já em estágio comercial.

Outro processo cuja tecnologia é comprovada e possui disponibilidade comercial é a produção de hidrogênio via eletrólise, que também é usada no Brasil diretamente ou como subproduto de outros processos eletrolíticos, como a produção de cloro e soda. Porém, seu custo é elevado em comparação com o processo de reforma, por consumir energia elétrica em seu processo, preenchendo, com isso, nichos de mercado. Já a produção de hidrogênio a partir do etanol ainda não é um processo estabelecido comercialmente no Brasil.

É preciso salientar, nesse caso, que a produção de hidrogênio tem se mostrado inacessível pra fins energéticos, mais por seus custos do que por sua disponibilidade comercial. Sua entrada em operação comercial é prevista para o pós-2030 (MMA, 2014). O Brasil classificou, através no Roteiro Beta (BRASIL, 2005), os prazos para a comercialização de hidrogênio energético no país, através de quatro fontes, como Marcos Globais.

Após a etapa de produção do hidrogênio, a geração de energia é feita a partir de células de combustível, reagindo o hidrogênio com o oxigênio do ar, gerando água e energia. O processo é antigo, datando de mais de 150 anos, mas tem sido objeto de muitas pesquisas e melhoramentos recentes. Já o seu mercado no Brasil é restrito a três empresas que desenvolvem sistemas de energia baseados nesses equipamentos: ELECTROCELL, UNITECH e NOVOCELL. Todas as três localizadas no Estado de São Paulo (CGEE, 2010). Apesar de sua tecnologia ser dominada e estão disponível comercialmente, oferecem poucos produtos comerciais e a quase totalidade das empresas desenvolve e testa protótipos, vendidos a grupos de pesquisa e usuários interessados em conhecer as aplicações do hidrogênio.

Quanto às condições logísticas do insumo mais usado para a produção de hidrogênio no país, os produtores de gás natural encontram-se face a face com o problema de desenvolvimento de campos de produção distantes dos mercados consumidores de combustíveis. O uso direto como combustível ou para geração de energia elétrica exige uma infraestrutura local de distribuição até o consumidor final, seja em redes de gasodutos ou do transporte e revaporização de GNL.

A movimentação de gás natural por longas distâncias através de gasodutos de alta pressão ou na forma de GNL é consideravelmente cara e as margens de lucro do gás natural oriundo deste campos remotos é erodida por estes elevados custos de transporte.

Os processos de conversão do gás natural o transformam em *commodities* químicas e combustíveis facilmente transportáveis em tanques, modificando o problema do transporte de gás em transporte de líquido e elevando o seu valor agregado. Isto remove as restrições de elevados custos de transporte e restrição de acesso aos mercados distantes, além de ser uma rota de elevação do valor agregado.

Assim, estes projetos não dependem de circunstâncias de mercado locais e podem ser baseados em pequenas reservas de gás natural. Além disso, podem ser empregados para suplementar as taxas de produção de gás em mercados locais limitados ou para justificar um projeto de exploração onde não exista mercado próximo ou o GNL não seja viável.

No que se refere à distribuição do hidrogênio pelo país, a logística de um combustível está intimamente ligada às aplicações da energia contida nesse combustível e às características das fontes primárias de energia no que se refere à sua disponibilidade geográfica bem como a sua composição química e propriedades físicas. Na prática, isso significa que o mercado apontará as aplicações e as formas de uso do hidrogênio, ao passo que as opções regionais indicarão a fonte energética mais competitiva disponível para gerar hidrogênio para os fins específicos. Assim, a logística integrará esses dois elos da cadeia, configurando o hidrogênio como um vetor energético

A existência de parcerias, contratos, e organizações no setor é um importante indicador de mercado. Segundo o Decreto nº 61.981, de 28 de dezembro de 1967, é o Conselho Nacional de Petróleo (CNP) responsável por superintender o abastecimento nacional de matérias-primas e produtos básicos, como o hidrogênio, nas indústrias petroquímicas, podendo fixar preços para as matérias-primas em condições competitivas com o mercado internacional. Dessa forma, as questões referentes ao hidrogênio devem se reportar a esse decreto.

Entre os vários desafios identificados existe a necessidade de parcerias. Ao invés de projetos, deve-se promover o financiamento de programas específicos com metas estabelecidas e compromisso de parceria efetivas de longo prazo entre as várias entidades governamentais, setor industrial, universidades, centro de pesquisas, setor de serviços, academia, ONG etc.. Além disso, fortalecer as indústrias existentes, criar novas e envolver uma parte maior do setor industrial em parcerias. Quanto às atividades de cooperação internacional, as parcerias seriam por diferentes instituições de ensino superior, instituições de pesquisa e desenvolvimento científico, ou empresas do setor privado, quando um destes agentes está sediado no exterior.



Quadro 13: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Estrutura de Mercado e Governança.

<b>Direcionador: Estrutura de Mercado e Governança</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As maiores indústrias de gases industriais e empresas fabricantes de células a combustíveis atuam no mercado brasileiro a mais de 10 anos</li> <li>• O mercado de hidrogênio aproxima-se de 920 mil toneladas por ano, tendo alguns setores específicos como responsáveis por esse crescimento;</li> <li>• Como a produção de hidrogênio para uso industrial já existe, sua tecnologia é bem conhecida e já dominado pelas indústrias produtoras, principalmente os processos via reforma a vapor do gás natural.</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numero de empresas produtoras muito restrito;</li> <li>• Produção de hidrogênio tem se mostrado inacessível pra fins energéticos, mais por seus custos do que por sua disponibilidade comercial;</li> <li>• Concentração e o poder de mercado das usinas na comercialização do hidrogênio tende a ser muito elevada, por ser um mercado ainda incipiente;</li> <li>• Produção e venda de hidrogênio no Brasil voltadas para o comércio industrial;</li> <li>• Do total, 95% do hidrogênio produzido é a partir de fontes fósseis;</li> <li>• Do hidrogênio com aplicações energéticas, estima-se que a produção de 5.000 m<sup>3</sup>/ano seja consumida totalmente nos projetos de demonstração;</li> <li>• O mercado para o hidrogênio energético é incipiente, principalmente porque o hidrogênio não pode competir economicamente com outras opções energéticas estabelecidas há longo tempo no mercado;</li> <li>• Desenvolvimento de campos de produção distantes dos mercados consumidores de combustíveis;</li> <li>• As questões referentes a leis e regulamentos do hidrogênio devem se reportar a um decreto referente a gases gerais e não específico a ele.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superar outras fontes renováveis e a energia nuclear, pois oferecem risco à implementação do hidrogênio para fins energéticos no Brasil.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existência de infraestrutura local de distribuição até o consumidor final, seja em redes de gasodutos ou do transporte e revaporização de GNL para o uso direto como combustível ou para geração de energia elétrica.</li> </ul>

### 6.1.2.5 Ambiente Institucional

No Brasil, o responsável pela concepção e implementação de políticas para o setor energético é o Ministério das Minas e Energia (MME). As políticas energéticas devem estar em conformidade com as diretrizes do CNPE. O MME, durante o biênio 2005/2006, com a estratégia de resgate do planejamento com visão de longo prazo, priorizou a realização de vários estudos. Além do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDEE), o Plano Nacional de Energia (PNE) e da Matriz Energética Nacional (MEN) apresentam um horizonte de planejamento até 2030 (MME, 2006).

Quanto a Estruturação da EH no Brasil, o MME vem se empenhando no planejamento e desenvolvimento de ações que conduzam à utilização do hidrogênio como vetor energético na década de 2020, complementando a matriz energética renovável do país (FOSTER *et al.* 2005). Nesse sentido, sua atividade permanente é traçar diretrizes para elaboração da política energética no Brasil, usando o hidrogênio como vetor energético.

Em 2005, o MME elaborou o Roteiro Brasileiro do Hidrogênio, conhecido como Roteiro Beta (BRASIL, 2005). As principais aplicações deste vetor energético são os mercados de geração distribuída de energia elétrica e transporte veicular. O governo traça metas para avançar em P&D dessa tecnologia. Em 2010, tais metas foram revistas alterando as prioridades e estimativas iniciais, com uma prorrogação de mais cinco anos para cada prioridade, exceto a reforma do gás natural, como pode ser analisado na Figura 29.

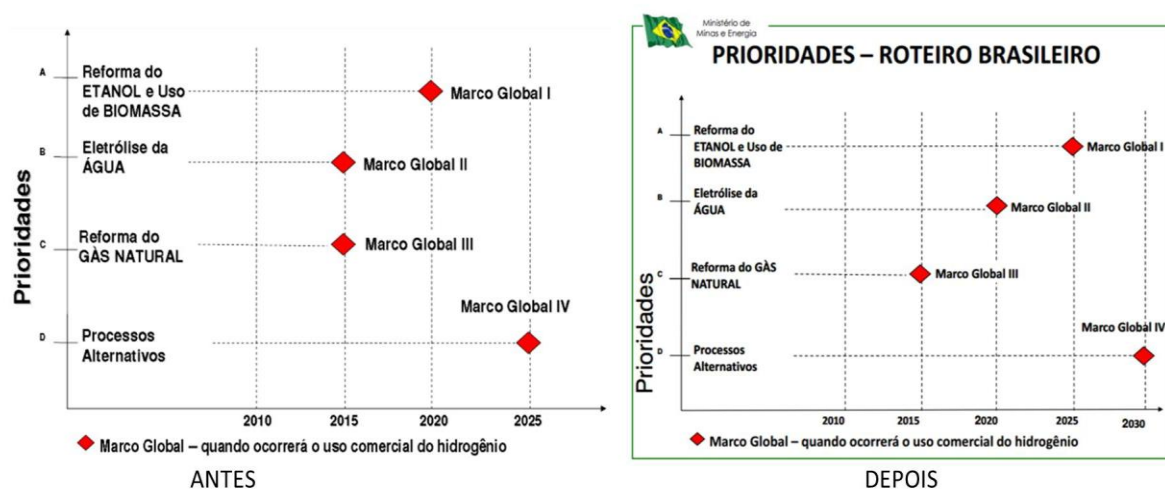


Figura 29: Prioridades do Roteiro Beta.  
Fonte: Araújo (2008) (Antes); Souto (2010) (Depois).

O Roteiro não contempla somente a produção de hidrogênio, mas também outras áreas importantes para a introdução da E.H. no país através da organização e desenvolvimento de projetos estruturantes: Mapeamento e Quantificação de Mercado; Construção de Pilotos de Demonstração Desenvolvimento Tecnológico; Desenvolvimento da Indústria de Bens e Serviços; Desenvolvimento dos Sistemas de Produção de Hidrogênio; Desenvolvimento da Infraestrutura para Comercialização; Desenvolvimento dos Sistemas de Conversão de Energia; Constituição do Arcabouço Regulatório; Constituição de Linhas de Financiamento; Tributação e Formação de Preços e Estudos Ambientais (GOSMANN, 2006).

Além do MME, o MCTI também contribuiu para a estruturação da EH no país coordenando pesquisas brasileiras de células a combustível. Capacita e treina também os recursos humanos envolvidos. Em 2002, intensificou seus esforços na identificação de competências científicas e tecnológicas na área de células a combustíveis (CaC's), realizando um trabalho de prospecção sobre o tema no país. Foi então criado o Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível (PROCaC), a partir da ordenação, por parte do MCT, das ações de Pesquisa e Desenvolvimento dos sistemas de CaC's - conhecido também como

PROH2 (VARGAS, *et al.*, 2006). Dessa forma, os programas e políticas voltadas para a produção do hidrogênio energético em destaque no Brasil são: PROH2; Roteiro Beta (BRASIL, 2005) e o documento técnico “Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para política de competitividade 2010-2025”. No Brasil, até o momento, a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) é a maior financiadora em projetos de Células a Combustível e Hidrogênio. É um órgão ligado ao MCTI e, no âmbito de um projeto, seus recursos são encaminhados ao MME, que, por sua vez, os repassa ao programa destinado (CHUM, 2002; RAFF *et al.*, 2013; REGINA e LOPES, 2013).

Quanto aos incentivos fiscais, o aumento a carga tributária sobre a importação de sistemas completos de produção de hidrogênio e de células a combustível completas, visando equilibrar os incentivos oferecidos a estes equipamentos em seus países de origem seria uma boa forma de incentivo do governo (através das instituições MF, MPOG) à indústria brasileira de produção de hidrogênio. Outra forma de incentivo destas instituições seria reduzindo a carga tributária sobre a importação de componentes para tecnologias de hidrogênio e células a combustível, visando à diminuição dos custos de aquisição de equipamentos não disponíveis no Brasil (CGEE, 2010).

Uma forma de incentivar a indústria brasileira, na criação de empregos, a empregar mão de obra especializada, criar uma rede de fornecedores, utilizar a tecnologia nacional e ainda concorrer com produtos incentivados fabricados no exterior é a concessão de editais de subvenção econômica para empresas localizadas em todo o território nacional com a indicação de temas relacionados à tecnologia do hidrogênio como área de interesse e/ou abertura de linhas de financiamento do BNDES. A parcela do orçamento do projeto a ser subvencionada deve utilizar recursos da Finep/FNDCT. Empresas de base tecnológica e de pequeno porte devem ter tratamento diferenciado, visando a sua consolidação no mercado (CGEE, 2010).

A abertura, no curto prazo, de linhas específicas de financiamento para empresas de pequeno e médio porte nacionais, direcionadas à aquisição de equipamentos e infraestrutura, por parte da FINEP ou BNDES ou até FAPs, podem ser consideradas como medidas políticas e institucionais para superar os gargalos enfrentados pelas empresas envolvidas no desenvolvimento de sistemas de produção de hidrogênio por meio de reforma de etanol, eletrólise e gaseificação (PRATES *et al.*, 2000; MORAIS, 2008; CGEE, 2010).

O Quadro 14 apresenta, em síntese, os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao diretor Ambiente Institucional.

Quadro 14: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Ambiente Institucional.

<b>Direcionador: Ambiente Institucional</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empenho do MME no planejamento e desenvolvimento de ações que conduzam à utilização do hidrogênio como vetor energético na década de 2020, complementando a matriz energética renovável do país;</li> <li>• O MCTI intensificou seus esforços na identificação de competências científicas e tecnológicas na área de células a combustíveis (CaC's), realizando um trabalho de prospecção sobre o tema no país;</li> <li>• Criação do PROCaC (hoje chamado de PROH2);</li> <li>• Criação do Roteiro Beta (BRASIL, 2005) e o documento técnico "Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para política de competitividade 2010-2025".</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo incentivo fiscal;</li> <li>• Baixo incentivo às linhas de crédito;</li> <li>• Ausência de uma política que contemple o hidrogênio no mercado energético.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Educar/ a sociedade para novos padrões de consumo, alterando o atual estilo de vida;</li> <li>• Interação restrita entre o conhecimento científico e tecnológico;</li> <li>• Criação de empregos e empregar mão de obra especializada;</li> <li>• Criar uma rede de fornecedores, utilizar a tecnologia nacional e ainda concorrer com produtos incentivados fabricados no exterior;</li> <li>• Medidas políticas e institucionais para superar os gargalos enfrentados pelas empresas envolvidas no desenvolvimento de sistemas de produção de hidrogênio por meio de reforma de etanol, eletrólise e gaseificação.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de uma política energética no Brasil;</li> <li>• Traçar diretrizes para Elaboração da Política Energética no Brasil, usando o hidrogênio como vetor energético;</li> <li>• Aumento da carga tributária sobre a importação de sistemas completos de produção de hidrogênio e de células a combustível completas, visando equilibrar os incentivos oferecidos a estes equipamentos em seus países de origem;</li> <li>• Redução da carga tributária sobre a importação de componentes para tecnologias de hidrogênio e células a combustível, visando a diminuição dos custos de aquisição de equipamentos não disponíveis no Brasil;</li> <li>• Concessão de editais de subvenção econômica para empresas localizadas em todo o território nacional com a indicação de temas relacionados à tecnologia do hidrogênio como área de interesse e/ou abertura de linhas de financiamento do BNDES;</li> <li>• Abertura, no curto prazo, de linhas específicas de financiamento para empresas de pequeno e médio porte nacionais, direcionadas à aquisição de equipamentos e infraestrutura, por parte da FINEP ou BNDES ou até FAPs;</li> <li>• Empresas de base tecnológica e de pequeno porte devem ter tratamento diferenciado, visando a sua consolidação no mercado.</li> </ul>

### 6.1.3 SWOT a partir da revisão bibliográfica

O quadro SWOT gerado a partir dos resultados teórico é apresentado no Quadro 15, trazendo as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da E.H.. No que diz respeito aos pontos fortes do uso do hidrogênio como vetor energético, pesquisadores defendem que sua combustão não gera compostos de carbono que causam emissões de gases de efeito estufa, visto que sua tecnologia é limpa pois localmente não polui e o produto da reação é a água. Desta forma, contribui com a redução na emissão de gases poluentes (ou GEE) quando é convertido em energia.

O hidrogênio possui alto poder calorífero, não é tóxico e é bastante reativo. Por estar em toda parte, é um recurso ilimitado e, por este motivo também, pode ser produzido através de diferentes insumos. Contudo, sua produção através de variados insumos é relativa e com custos diferentes de acordo com o insumo utilizado. No Brasil, sua produção para consumo industrial é expressiva. Quanto ao consumo energético, é inexistente havendo apenas três plantas estacionárias de células PAFC em operação.

Quanto às oportunidades caso a Economia do Hidrogênio se firme estão fundamentadas no uso do hidrogênio como um transportador de energia (vetor energético) e a inclusão social, principalmente levando energia aos que não possuem eletricidade, às regiões mais distantes dos centros distribuidores de energia. Dessa forma, contribuirá com a geração distribuída de energia com atendimento residencial, comercial e industrial. Trarão também o desenvolvimento de novas empresas e indústrias de bens e serviços do setor de hidrogênio no Brasil e a focalização das atividades de pesquisa, desenvolvimento e suporte tecnológico. A diversificação da matriz energética é outra consequência que permitirá uma redução na dependência externa de combustíveis fósseis. Tal redução tenderá a uma estabilidade econômica no país que, caso se mantenha, há projeções de crescimento sustentável nos próximos anos. O uso de eletricidade com reconversão do hidrogênio em energia elétrica nos horários de pico de consumo de eletricidade é uma outra opção de consumo com benefícios assim como o seu uso no setor veicular.

Diante das características apresentadas, existem, porém, algumas barreiras à expansão do uso do hidrogênio como combustível e fonte de energia. Primeiramente sua produção para fins energéticos é praticamente inexistente, existindo apenas testes em protótipos e plantas de demonstração. Isso porque ainda para produzi-lo é gasto certa quantidade de energia e, desta energia, gera-se menos energia que o total usado para sua obtenção. A inexistência da cadeia de suprimentos do hidrogênio energético é outra barreira que deve ser removida. A falta de recursos humanos qualificados nos diferentes níveis de ensino não é capaz de suprir a demanda de recursos humanos para o setor. Por conseguinte, a defasagem tecnológica e a inexistência de capacidade industrial para produção de equipamentos figuram como desafios a serem superados.

Outro fator desfavorável é que não existe infraestrutura instalada para suprimento deste combustível, ou seja, do ponto de vista comercial, não é perceptível a presença dos agentes responsáveis pelas atividades de produção, armazenamento, transporte, distribuição e consumo do hidrogênio energético. As dificuldades em seu armazenamento, principalmente para uso veicular estão condicionadas a sua densidade. Por ser um composto de baixíssima

densidade, ocupa muito volume. Mas, uma alternativa é o seu armazenamento na forma de hidretos, compostos instáveis que o liberam lentamente. Também não existe empresas de serviços, assim como normas de segurança específicas e/ou normas técnicas que venha padronizar os processos.

Quanto às ameaças que giram em torno da E.H., destaca-se o fato dele depender de outras fontes para ser produzido, já que o hidrogênio é uma fonte secundária de energia, pois não é encontrado na natureza em estado puro, em quantidade significativa. Porém, a principal ameaça é o fato de não possui competitividade frente aos energéticos concorrentes, não existindo ainda demanda para esse combustível. Dessa forma, sua produção a partir de recursos renováveis ainda não é economicamente competitiva. Consequentemente, o mercado mundial de células a combustível oferece pouco produtos comerciais. Essas ameaças se devem ao atraso no desenvolvimento tecnológico brasileiro. As tecnologias em desenvolvimento no Brasil para eliminação completa de carbono do ciclo produtivo do hidrogênio, otimização do processo, competitividade econômica e sustentabilidade ambiental não estão maduras, principalmente, em função do baixo nível de investimento no país.

Quadro 15: Análise SWOT da E.H. no Brasil a partir da revisão bibliográfica.

<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>
<p style="text-align: center;"><b>Forças</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Liderança do país em PD&amp;I na América Latina;</li> <li>- Diversidade de pesquisas no país em tecnologias e insumos (disponibilidade e diversidade de recursos para produção e expansão do setor no Brasil);</li> <li>- Redução na dependência externa de combustíveis fósseis;</li> <li>- Dispõe de grupos de pesquisa e empresas de base tecnológica;</li> <li>- Financiamento de projetos por grandes empresas públicas ou privadas do setor de energia;</li> <li>- Tecnologia da reforma do gás natural dominada, avançada e disponível no mercado.</li> <li>- Menor preço da reforma do gás natural, em termos de escala de produção;</li> <li>- Os processos considerados nos programas nacionais: eletrólise da água, reforma a vapor de etanol e gaseificação de biomassa;</li> <li>- Desenvolvimento no país de protótipos de veículos de passeio e projetos de ônibus, a partir do uso de células a combustível;</li> <li>- Evolução das patentes depositadas para produção de hidrogênio;</li> <li>- Existência de plantas estacionárias de CaC em operação;</li> <li>- Geração de energia elétrica através de células a combustível com aplicações estacionárias (baterias recarregáveis);</li> <li>- Desenvolvimento de novos catalisadores de reforma;</li> <li>- Existência de reservas de gás natural e investimento em etanol;</li> <li>- Investimentos e infraestrutura instalada na exploração e produção de gás natural;</li> <li>- Produção para consumo industrial é significativo;</li> <li>- Atuação de CaC no mercado brasileiro a mais de 10 anos;</li> <li>- Empenho do MME no planejamento e desenvolvimento de ações que conduzam à utilização do hidrogênio como vetor energético na década de 2020, complementando a matriz energética renovável do país;</li> <li>- O MCTI intensificou seus esforços na identificação de competências científicas e tecnológicas na área de células a combustíveis (CaC's), realizando um trabalho de prospecção sobre o tema no país;</li> <li>- Criação do PROCaC (hoje chamado de PROH2), criação do Roteiro Beta (BRASIL, 2005) e o documento técnico "Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para política de competitividade 2010-2025.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Oportunidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas ambientais no país, emissão de GEE, crise energética, possibilidade de esgotamento de petróleo e alto preço do petróleo;</li> <li>- Aumento do custo de energia elétrica oriunda das hidrelétricas;</li> <li>- Diversificação da matriz energética brasileira: energia renovável;</li> <li>- Possibilidade de ser usado no país como vetor energético, trazendo inclusão energética e social;</li> <li>- Pesquisa em geração distribuída de energia;</li> <li>- Focalização das atividades de pesquisa, desenvolvimento e suporte tecnológico;</li> <li>- Desenvolvimento no Brasil, com o avanço dos novos projetos para novas áreas automobilísticas e energéticas. Novas tecnologias aprimorando os automóveis: uso veicular;</li> <li>- Reforma a vapor do gás natural e etanol numa etapa bem desenvolvida;</li> <li>- Infraestrutura para receber o gás natural na refinaria e posterior produção de hidrogênio já está pronta. Os custos de implantação do processo de reforma do gás são um adicional que se pode ser considerado pequeno, frente ao custo de instalação da refinaria;</li> <li>- Clima e solo adequados à cultura de insumos cultiváveis;</li> <li>- Redução do custo através de investimento, contemplando recursos humanos em diferentes níveis, no curto prazo, com recursos do CNPq, Finep e das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (FAPs);</li> <li>- Estabilidade econômica no país, com tendência de crescimento sustentável nos próximos anos;</li> <li>- Crescimento de indústrias produtoras de gases industriais no Brasil;</li> <li>- Maior aliança com os EUA e o IPHE a fim de obter parcerias e investimentos;</li> <li>- Leis ambientais brasileiras;</li> <li>- Co-geração de energia. Uso nos horários de pico de consumo de eletricidade; Possibilidade de Produção através de cogeração em hidrelétricas;</li> </ul>

<b>Fraquezas</b>	<b>Ameaças</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inexistência de equipamentos nacionais para a eletrólise da água e o país tem dado pouca ênfase à PD&amp;I nesse item;</li> <li>- Investimentos reduzidos que atrasam o desenvolvimento tecnológico (lenta maturação no desenvolvimento);</li> <li>- Ausência na matriz energética brasileira;</li> <li>- Tecnologias para eliminação completa de carbono do ciclo produtivo em desenvolvimento;</li> <li>- O mercado de células a combustível oferece poucos produtos comerciais;</li> <li>- Testes apenas em protótipos e plantas de demonstração;</li> <li>- Não possui infraestrutura instalada no país para armazenamento e transporte;</li> <li>- Baixa eficiência e vida útil limitada da célula a combustível;</li> <li>- Custos elevados para o uso na produção de H<sub>2</sub> através de fontes renováveis;</li> <li>- Custos de entrada elevados tanto para o hidrogênio quanto para a célula a combustível;</li> <li>- Gargalos tecnológicos no processo de produção de hidrogênio a partir da biomassa;</li> <li>- Preço final superior ao da gasolina;</li> <li>- Inexistência de normas, códigos, padrões e legislação para regulamentar as atividades de pesquisa, desenvolvimento, demonstração e comercialização da tecnologia do hidrogênio;</li> <li>- Ineficiência de normas de segurança específicas;</li> <li>- O pequeno volume de investimentos impede a criação de laboratórios ou instituições de pesquisas nacionais capacitados a certificar todos os equipamentos e processos desenvolvidos na indústria ou a oferecer treinamento certificado em operação e segurança;</li> <li>- Deficiência na formação e fixação de recursos humanos nas instituições de PD&amp;I.</li> <li>- Número de empresas produtoras restrito;</li> <li>- Concentração e o poder de mercado das usinas na comercialização do hidrogênio tende a ser elevada, por ser um mercado ainda incipiente;</li> <li>- Produção e venda de hidrogênio no Brasil voltadas para o comércio industrial;</li> <li>- Do total, 95% do hidrogênio produzido é a partir de fontes fósseis;</li> <li>- Das aplicações energéticas, a produção é consumida totalmente nos projetos de demonstração;</li> <li>- Desenvolvimento de campos de produção distantes dos mercados consumidores de combustíveis;</li> <li>- Inexistência da cadeia de suprimentos do hidrogênio energético;</li> <li>- Inexistência de capacidade industrial para produção de equipamentos;</li> <li>- Ausência de empresas de serviços;</li> <li>- Dificuldade em se beneficiar da curva de aprendizagem de algum outro componente tecnológico do setor;</li> <li>- Baixo incentivo fiscal e baixo incentivo às linhas de crédito;</li> <li>- Ausência de uma política que contemple o hidrogênio no mercado energético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausência de investimentos em pesquisas, desenvolvimento e inovação no setor;</li> <li>- Atraso no desenvolvimento brasileiro – defasagem tecnológica;</li> <li>- Restrita compatibilidade com o atual regime energético;</li> <li>- Custo dos insumos;</li> <li>- Custo da reforma a vapor muito sensível ao custo do gás natural;</li> <li>- Inexistência de legislação para padronização visando o mercado;</li> <li>- Surgimento de novos concorrentes;</li> <li>- Energéticos concorrentes mais competitivos no país, podendo realizar o atendimento energético e competir em condições de igualdade com H<sub>2</sub>;</li> <li>- Crise financeira. Desvalorização do real;</li> <li>- Ausência de demanda para o hidrogênio energético;</li> <li>- Ausência de economia de escala;</li> <li>- Questão tributária e dos juros do setor;</li> <li>- Incentivos fiscais e linhas de créditos a outros concorrentes;</li> <li>- Desvalorização da moeda brasileira;</li> <li>- Crise na Petrobrás;</li> <li>- Crise na cadeia do etanol.</li> </ul>



## **6.2 Resultados a partir da pesquisa de campo: Panorama da cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil na visão dos agentes da indústria, empresas, governo e pesquisa.**

Em conformidade com o objetivo geral do presente trabalho, ou seja, analisar a competitividade da Cadeia Produtiva do Hidrogênio e propor uma agenda de trabalho setorial direcionadora de políticas públicas e ações coletivas, os dados coletados nas entrevistas com os agentes-chaves da cadeia (pesquisadores, indústria, empresas e governo) estão aqui descritos e discutidos. Além disso, os dados foram tabulados, a fim de que os direcionadores (e respectivos indicadores) de competitividade fossem analisados de forma abrangente.

### **6.2.1 Direcionadores**

#### **6.2.1.1 Tecnologia**

A inovação e a tecnologia são bons direcionadores e estabelecem uma conexão entre o desenvolvimento científico e o sistema econômico na medida em que determina a competitividade das empresas e das instituições envolvidas (LACERDA *et al.*, 2001). O sucesso na consolidação e sobrevivência de uma cadeia depende da implementação das ações vinculadas aos fatores críticos, além de investimentos em tecnologias de apoio.

Todos os agentes de pesquisa entrevistados apresentaram preocupações com os investimentos no país em PD&I. Quando perguntados sobre o tempo para que o hidrogênio e a CaC começassem a ser empregados no setor energético brasileiro, afirmaram que tal inserção será paulatinamente.

Apesar de haver uma intenção por parte dos pesquisadores em desenvolver a cadeia produtiva do hidrogênio, mesmo com a liderança em PD&I em tecnologias de hidrogênio na América Latina, os investimentos brasileiros não são considerados suficientes. Segundo o entrevistado A6, a inovação no Brasil não é das mais fáceis; preferem comprar uma licença no exterior do que investir em pesquisa no Brasil, para não correr riscos. Adicionalmente, o entrevistado A1 ainda afirmou que “a pesquisa nunca foi prioridade para o Brasil. Não temos padrões de tecnologias de países de primeiro mundo. Apenas algumas vezes fazemos coisas pontuais, aqui, ali. Mas só!”. Apesar de relevantes pesquisas no país, os pesquisadores ainda encontram dificuldades em conseguir apoio do governo, alegando, principalmente, que a prioridade do país não é a pesquisa e inovação.

Na visão dos entrevistados, existem poucos investimentos em pesquisas relacionadas às tecnologias de produção de hidrogênio, e as perspectivas em relação ao uso do hidrogênio no setor energético não são adequadas. A falta de recursos financeiros e a burocracia no serviço público são citados como gargalos no desenvolvimento de tecnologias investidas em instituições de pesquisas, enquanto que a ausência de construção de mais unidades de produção de hidrogênio é um gargalo apontado no desenvolvimento deste energético no Brasil. A consolidação da tecnologia, desenvolvimento de novos materiais e a demonstração de segurança/confiança, além do alto custo da tecnologia são alguns dos entraves citados que devem ser superados para aumentar a competitividade do setor energético a partir do hidrogênio.

Os baixos investimentos na área, entre outros efeitos, impedem a criação de mais laboratórios ou instituições de pesquisa nacionais, além de haver um número bem restrito de plantas experimentais em funcionamento. O representante da Eletrocell (A11) ressaltou que mesmo com baixos investimentos, o MCTI investe mais nas pesquisas do que na indústria: “já temos uma quantidade razoável de CaC que funcionam há 10 anos e poderiam estar no mercado”. Já a representante do MCTI afirmou “Investimento existe. Porém ainda é pouco diante da demanda”. Quanto à continuidade dos recursos na pesquisa, a entrevistada disse não haver, pois, “mesmo quando algum projeto é beneficiado por, por exemplo, 2 anos, o ministério não consegue garantir que o recurso continue nos anos seguintes”.

Em relação à produção de hidrogênio, a tecnologia é considerada madura e está em pleno funcionamento. Para o agente representante do IPEN (A10), as tecnologias de produção de hidrogênio existentes no Brasil são baseadas em processos termocatalíticos - reforma de hidrocarbonetos, e a maioria está nas refinarias de petróleo, como a Petrobras. O representante do LH2 e do CENEH (A1) destacou que, quanto à produção do hidrogênio, não existe mais o que fazer: “a tecnologia de produção de hidrogênio já está pronta, com tecnologia consolidada, não tem mais o que fazer quanto a sua produção em si”. Contudo, lembrou que para as CaC (produção de hidrogênio energético) ainda tem que melhorar tecnologicamente. A representante do MCTI ainda ressaltou que, apesar dos avanços tecnológicos, “o país ainda está atrasado, pois até o fotovoltaico que é disseminado no mundo ainda não é no Brasil”.

Tecnologias-chave são aquelas que precisam ser de domínio da indústria para que seja garantida a competitividade setorial. Pode se tratar tanto de tecnologias já existentes, bem estabelecidas e que continuam se desenvolvendo, quanto de tecnologias emergentes, com possibilidade de industrialização em um horizonte de 10 anos (MINISTÈRE DE

L'INDUSTRIE, 1995<sup>27</sup> *apud* SENAI, 2007). Os entrevistados avaliaram como insuficiente a difusão das tecnologias-chave para os empresários do setor, o que compromete a melhoria da competitividade do setor. Para a Coordenadora do Laboratório de Tecnologia do Hidrogênio (A4), a pouca difusão das tecnologias-chaves é um ponto fraco para esse direcionador. Ainda, o agente-chave A6, ex-ministro do Brasil e ex-presidente da PETROBRAS, destacou que “o resultado de qualquer pesquisa, de uma forma ou de outra, é o uso do consumidor final e o veículo para que isso ocorra é a indústria”, ressaltando a importância da interação entre pesquisa e indústria.

A parceria com instituições de pesquisas de hidrogênio no país praticamente não existe, sendo mínima entre instituições de pesquisa e indústria. Entretanto, como a tecnologia do hidrogênio como vetor energético ainda não está consolidada, a difusão de tecnologias-chave juntamente com parcerias com instituições de pesquisas poderia contribuir para o aperfeiçoamento destas e para a competitividade do hidrogênio no país, afirmou o economista entrevistado (A7).

Na visão dos entrevistados, quanto ao cenário atual da propriedade intelectual em hidrogênio para fins energéticos não existem empresas líderes, sendo a disposição de patentes considerada desfavorável. Existe um grande “desinteresse em escrever patentes devido a grande burocracia” afirmou o representante do IPEN (A10). O representante LH2 e do CENEH ainda acrescentou “no Brasil existe uma baixíssima quantidade de patentes em relação a dos outros países” (A1).

Para os entrevistados, um dos diferenciais do hidrogênio como vetor energético frente aos atuais é a aplicação nas células a combustível, visto que é energeticamente mais eficiente por possui maior eficiência térmica em relação a tecnologia com motor a combustão. A sua produtividade e, conseqüentemente, competitividade no país está relacionada ao fato de que ainda não foi implantada comercialmente a tecnologia de CaC. Porém, os profissionais consultados nessa pesquisa acreditam que o mercado não reconhece nem valoriza este diferencial.

Apesar dos esforços já realizados, será necessário aumentar significativamente os investimentos em pesquisas das matérias-primas usadas na produção de hidrogênio, além de ser necessário tornar mais eficiente a utilização dos recursos financeiros disponíveis. Os equipamentos desenvolvidos no Brasil também necessitam de ganhos de escala para se

---

<sup>27</sup> MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE. Les 100 technologies clés pour l'industrie française – à l'horizon 2000. Direction générale des stratégies industrielles. 1. ed. Julho, 1995.

tornarem competitivos. Além disso, são necessários esforços em PD&I intensos no mercado de células a combustível (CaC), visando aperfeiçoamento de componentes, produtos e sistemas, bem como de seus respectivos processos de fabricação. Para o representante do LH2, “estamos completamente ultrapassados. Estamos estudando o que os caras á fora estão vendendo. Lá fora tem preço, desempenho e eficiência. Estamos ainda estudando os fundamentos”.

O agente A3 acrescentou “um longo caminho ainda tem que ser percorrido no sentido de desenvolvimento de sistemas eletrolíticos mais eficientes, baseados no uso de energia solar ou eólica, processos biológicos e de aproveitamento de biomassa, por gaseificação ou reforma de derivados provenientes de biomassa. Os processos eletrolíticos já existem em escala comercial, mas como o consumo de energia elétrica é muito grande, o desafio é o aproveitamento de energia solar ou eólica como forma de dar maior flexibilidade ao processo. Já os processos biológicos e de aproveitamento de biomassa estão ainda em escala piloto ou pré-industrial, sendo que avanços no cultivo de microalgas e bactérias fermentativas, meios de cultura e sistemas reacionais são esperados para os processos biológicos, e o desenvolvimento de gaseificadores e reformadores compactos, catalisadores e condições de operação para os processos de aproveitamento de biomassa também tem apresentado grandes avanços recentemente”.

O desenvolvimento de PD&I envolve o crescente aumento de desempenho e durabilidade para cada aplicação específica (estacionária, transporte e portátil) com redução de custos. Na visão da representante do MCTI, a implementação da E.H. e sua produção em escala comercial se dará através do etanol e gás natural, por já existir infraestrutura instalada no país para distribuição. O gás natural será o primeiro a ser implementado (para o uso do hidrogênio pra fins energéticos), já que os entrevistados avaliam consolidado o nível tecnológico da produção do hidrogênio a partir do gás natural. Em relação a fontes renováveis, ainda se encontra em estágio de pesquisa e desenvolvimento.

As tecnologias envolvendo o gás natural e, no futuro, o hidrogênio, são vetores de desenvolvimento de tecnologias específicas, competitivas e economicamente atrativas. A produção de biomassa no Brasil apresentou um importante salto tecnológico, que resultou no aprimoramento de técnicas que qualificam o setor para a exploração sustentada das florestas nativas, ou seja, o aproveitamento de sua biomassa sem promover o desflorestamento.

Dentre as barreiras tecnológicas foram apontadas a produção, armazenamento e distribuição do hidrogênio. É necessário melhorar a coordenação das atividades dos grupos de

pesquisa envolvidos, principalmente na organização dos resultados obtidos e na continuidade dos trabalhos, em busca da solução dos gargalos tecnológicos.

Espera-se que já nos próximos anos ocorra a diminuição significativa dos custos de produção por ganhos de escala, amadurecimento tecnológico e, em especial, um aumento expressivo na vida útil e eficiência das células a combustível. A melhoria destas características técnicas deve propiciar um aumento dos nichos de aplicação desta tecnologia devido aos menores custos globais.

O Quadro 16 apresenta, em síntese, os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Tecnologia, obtidos através da pesquisa de campo.

Quadro 16: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Tecnologia.

<b>Direcionador: Tecnologia</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologias de produção bem desenvolvidas;</li> <li>• Consolidado nível tecnológico da produção do hidrogênio a partir do gás natural;</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimentos em PD&amp;I brasileiros não são considerados suficientes;</li> <li>• Recursos financeiro limitados e falta de aporte dos recursos;</li> <li>• Falta de continuidade do recurso o que, muitas vezes, inviabiliza a pesquisa;</li> <li>• Número de patentes inferior aos outros países;</li> <li>• Ainda não foi implantada comercialmente a tecnologia de CaC;</li> <li>• Fontes renováveis ainda se encontra em estágio de pesquisa e desenvolvimento.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manter e ampliar investimentos em pesquisas e inovação tecnológica;</li> <li>• Redução do custo da tecnologia;</li> <li>• Consolidação da tecnologia, desenvolvimento de novos materiais e a demonstração de segurança/confiança;</li> <li>• Amadurecimento tecnológico, em especial, um aumento expressivo na vida útil e eficiência das células a combustível;</li> <li>• Vencer a burocracia existente no país ao escrever patentes;</li> <li>• Ampliar o número de patentes;</li> <li>• Ganhos de escala para os equipamentos desenvolvidos no Brasil.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difusão da tecnologias-chave para os empresários do setor;</li> <li>• Criação de mais plantas experimentais;</li> <li>• Desenvolver a relação entre pesquisadores, indústria e empresas de CaC;</li> <li>• São necessários esforços em PD&amp;I intensos no mercado de células a combustível (CaC), visando aperfeiçoamento de componentes, produtos e sistemas, bem como de seus respectivos processos de fabricação;</li> <li>• Produção em escala comercial inicial através do etanol e gás natural, por já existir infraestrutura instalada no país para distribuição;</li> <li>• Redução significativa, através dos avanços tecnológicos, dos custos de produção a fim de elevar a economicidade dos projetos;</li> <li>• Aplicação da tecnologia no mercado.</li> </ul>

### 6.2.1.2 Insumos e Infraestrutura

Quanto à disponibilidade dos insumos para a produção de hidrogênio no país, os representantes de todos os setores declararam ser um ponto forte para o setor. A representante do MCTI (A8) declarou que “quanto a isso o Brasil é bem rico em matéria-prima”. A

qualidade (em termos de quantidade de H) com que o insumos produzem H<sub>2</sub> foi considerada um ponto favorável, apesar de variar de insumos para insumo. O uso das matérias primas gás natural, etanol e biomassa foram as mais citadas dentre os pesquisadores entrevistados.

Para o representante da Eletronuclear (A3), sem dúvida o hidrogênio tem potencial para ser um dos combustíveis do futuro: “em primeiro lugar por sua disponibilidade, pois pode ser obtido a partir de diferentes matérias-primas e diferentes processos de produção, o que lhe dá uma flexibilidade de produção extraordinária. Em segundo lugar, vêm suas características em relação à sustentabilidade, pois pode ser obtido a partir de fontes renováveis, como a biomassa, reduzindo os impactos ambientais associados. Em terceiro lugar, o hidrogênio não é tóxico e nem poluente. No caso de um vazamento há uma rápida dispersão no ar, mas é inflamável, requerendo cuidados especiais no seu manuseio. Além disso, o hidrogênio, uma vez utilizado como combustível em células a combustível, contribuiria para uma mudança em nossos paradigmas energéticos, com geração “descentralizada de energia e maior independência em relação aos combustíveis fósseis e grandes centrais elétricas”, afirmou o entrevistado. Contudo, o economista entrevistado (A7) salientou que “a abundância de insumos não nos permite concentrar os recursos na pesquisa em um ou em dois, e com isso, acaba pulverizando os esforços”.

Apesar da vasta disponibilidade de insumos e qualidade para a produção de hidrogênio ter sido declarada como boa, na visão dos entrevistados, o *status* do desenvolvimento do hidrogênio no Brasil a partir das diferentes matérias-primas não é compatível com o panorama internacional. O Brasil produz em média 12 bilhões de m<sup>3</sup> de hidrogênio por ano. Este gás basicamente é utilizado nas próprias refinarias de petróleo (~30%), indústrias de fertilizantes (produção de amônia~50%), indústria química produção de metanol (10%) e indústria alimentícia (gorduras hydrogenadas). Para o entrevistado A10, representante do IPEN, o país dificilmente conseguiria competir com o mercado internacional.

Quanto ao transporte, aproximadamente 94% do hidrogênio é transportado por gasoduto e o restante por caminhões-tanque, comprimido sob alta pressão. “Em geral, as células a combustível que usam gás natural usariam as redes do próprio gás natural. Mas no interior do país é complicado, visto que não possui essa infraestrutura instalada”, comentou a representante do MCTI (A8). Afirmou ainda que “transportar e armazenar H<sub>2</sub> é muito complicado. Teria que ver fazer uma revisão, pra fazer o transporte e armazenamento adequado. Talvez, um sistema elétrico interligado”. A forma mais comum de armazenar o hidrogênio é na forma de gás comprimido, semelhante ao gás natural.

No momento, na infraestrutura, do ponto de vista comercial, não é perceptível a presença dos agentes responsáveis pelas atividades de produção, armazenamento, transporte, distribuição e consumo do hidrogênio energético. Não há atualmente, no Brasil, infraestrutura instalada para suprimento deste combustível como vetor energético. Na concepção de todos os agentes, o Brasil ainda precisa de investimentos em pesquisas e desenvolvimento nas áreas de transporte e armazenamento do hidrogênio.

Ainda existem gargalos tecnológicos como o preço dos insumos, que ainda é desfavorável para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país, assim como o custo da mão de obra, uso de energia para produção, custo dos catalisadores e a logística de transporte e armazenamento de hidrogênio. Na visão de alguns agentes, as tecnologias de células a combustível, de produção, armazenamento e transporte de hidrogênio já existem embora ainda não maduras.

Barreiras técnicas, econômicas e institucionais devem ser suplantadas. Contudo, demandam esforços e investimentos elevados em todo o mundo, afirmou o representante da White Martins (A2). Na visão do agente A3, “existem barreiras técnicas e econômicas a serem vencidas para a implementação da chamada E.H., que engloba os sistemas de produção, armazenamento, transporte, distribuição e uso do hidrogênio energético”, necessitando de desenvolvimento nessas etapas. A infraestrutura e os problemas referentes a ela requerem investimentos na cadeia produtiva para a E.H..

O agente A3 ainda complementa “as barreiras técnicas estão relacionadas ao desenvolvimento de sistemas de produção de hidrogênio de forma descentralizada, como reformadores compactos, eletrolisadores mais eficientes, gaseificadores de pequeno porte para biomassa, além de sistemas para transporte e armazenamento do hidrogênio, como os hidretos metálicos e nanoestruturas de carbono”.

Como desafios, os entrevistados citaram o uso de energias renováveis como: diferentes tipos de biomassa disponíveis no Brasil, o desenvolvimento de novos catalisadores mais eficientes e mais baratos e substituir o uso da platina por metais mais baratos na composição dos catalisadores das CaC e manter a eficiência.

Na visão dos entrevistados, num futuro próximo, não haverá a produção de hidrogênio no Brasil a partir de fontes renováveis, devido ao seu alto custo, contudo ainda acreditam que essa cadeia poderá ser promissora no Brasil.

O Quadro 17 apresenta, em síntese, os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Insumos e Infraestrutura, obtidos com a pesquisa de campo.

Quadro 17: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Insumos e Infraestrutura.

<b>Direcionador: Insumos e Infraestrutura</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidade dos insumos;</li> <li>• Obtenção a partir de fontes renováveis;</li> <li>• Rápida dispersão no ar;</li> <li>• Rica disponibilidade de matéria-prima no país.</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de infraestrutura instalada para transportar e armazenar o H<sub>2</sub>;</li> <li>• Preço pago pelos insumos;</li> <li>• Falta de infraestrutura para armazenamento e transporte;</li> <li>• Alto custo em transporte;</li> <li>• Custo dos catalisadores;</li> <li>• Consumo de energia.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso a partir da biomassa, reduzindo os impactos ambientais associados;</li> <li>• Implantar infraestrutura de transporte e armazenamento;</li> <li>• Redução no consumo de energia;</li> <li>• Desenvolvimento catalisadores mais eficientes e mais baratos;</li> <li>• Substituição do uso da platina por metais mais baratos na composição dos catalisadores das CaC, mantendo a eficiência.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentrar as pesquisas poucos insumos para concentrar os esforços;</li> <li>• A princípio, uso das próprias redes de gás natural para transporte;</li> <li>• Investimento em pesquisas e desenvolvimento nas áreas de transporte e armazenamento do hidrogênio;</li> <li>• Criação de um sistema elétrico interligado;</li> <li>• Investimento em pesquisas e desenvolvimento em catalisadores.</li> </ul>

### 6.2.1.3 Gestão

A normatização é um item essencial para a entrada de uma nova tecnologia no mercado. Na visão do representante do IPEN (A10), “nas firmas existentes no país, os sistemas de certificações nacionais são baseadas em padrões internacionais já existentes. No Brasil, as certificações e a normatização referente à produção do hidrogênio é de responsabilidade do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial) vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (MDIC)”. O representante da Eletrocell (A11) afirmou que, apesar das normas existentes hoje no país serem traduções e adaptações das normas internacionais, o Brasil está 100% em dia com as normas. O representante do LH2 esclareceu que, muitas das vezes, as normas seguidas no setor são as normas aplicadas ao GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). O agente A11 declarou que um selo importante adquirido nesse setor é o selo verde.



Já a opinião do entrevistado A6, por ter participado da equipe técnica na fabricação do primeiro avião nacional, deve-se pensar em certificação e normatização quando já tivermos um produto no mercado, como um carro híbrido, por exemplo. Acrescentou ainda que todas as automobilísticas nacionais fracassaram na construção e aplicação do carro híbrido. Para ele é necessário que haja um gerenciamento técnico e tecnológico, adequado ao setor.

O planejamento e controle de qualidade da produção foram considerados neutros para a competitividade do hidrogênio no país, pois basicamente não existe competitividade na produção de hidrogênio enérgico no Brasil, ficando a maioria a cargo da Petrobras, que produz para seu próprio consumo. Apesar disso, existe preocupação com impacto ambiental pois “hoje o controle da qualidade e impacto ambiental são fatores considerados importantes no mundo todo, para implantação de qualquer tecnologia ou novo produto”, afirmou o representante do IPEN.

O custo de produção foi citado como muito desfavorável para a competitividade no país. A representante do MCTI (A8) salientou que o preço do H2 varia muito de acordo com a procedência, forma de produção e pureza. O representante do LH2 acrescentou que já participou de alguns estudos com seus orientados onde apontou um custo de produção H2 bem abaixo ao que a indústria comercializa.

Para os pesquisadores, quanto ao desenvolvimento de recursos humanos qualificados – citado como necessidade no Roteiro Beta (BRASIL, 2005) para a E.H. – afirmam que as instituições têm contribuído como estudos direcionados às áreas de hidrogênio e células a combustível, além de livros publicados e ensino em disciplinas de graduação e pós-graduação. Para o agente A6, a qualificação dos recursos humanos no país é um ponto forte.

Um dos desafios apontados pela representante do LABTECH (A4) é a ampliação e a formação de mestres e doutores no assunto. Já a opinião do representante do LH2 é que já existem bastante profissionais e pesquisadores no país, para suprir a demanda atual. No entanto, em caso de aumento de demanda, será necessário aumentar a quantidade de pessoal qualificado envolvido.

O Quadro 18 apresenta, em síntese, os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Gestão, obtidos com a pesquisa de campo.

Quadro 18: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Gestão.

<b>Direcionador: Gestão</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preocupação com o controle da qualidade e impacto ambiental, sendo considerados importantes fatores para implantação de qualquer tecnologia ou novo produto;</li> <li>• Contribuição das instituições como estudos direcionados às áreas de hidrogênio e células a combustível, além de materiais publicados e ensino em disciplinas de graduação e pós-graduação;</li> <li>• Existência de profissionais e pesquisadores no país, para suprir a demanda atual.</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O custo de produção;</li> <li>• Certificações nacionais baseadas em padrões internacionais já existentes;</li> <li>• Pouca participação do Brasil na elaboração das normas internacionais;</li> <li>• Inexistência de competitividade na produção de hidrogênio energético no Brasil.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preço competitivo para o mercado energético;</li> <li>• Ampliação e a formação de mestres e doutores no assunto;</li> <li>• Investimento na criação de normas e regulação quanto à segurança e padronização;</li> <li>• Uso de ferramentas de gestão.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior empenho e participação do Brasil quanto a elaboração das normas e certificações relativas a produção de hidrogênio;</li> <li>• Produção de hidrogênio, inicialmente, a partir do gás natural e etanol, na tentativa de reduzir os custos;</li> <li>• Investimento em planejamento estratégico nas indústrias produtoras de hidrogênio e que estão no mercado industrial, visando fomentar a cadeia energética.</li> </ul>

#### 6.2.1.4 Estrutura de Mercado e Governança

Os indicadores avaliados neste direcionador foram: tempo de atuação; número de firmas; nível de concentração (concorrência) de mercado; escala de produção; disponibilidade comercial do H<sub>2</sub> no mercado (tecnologia comprovada); condições logísticas; parcerias e contratos; organizações setoriais; relações com: indústria, pesquisa, governo e fabricantes de CaC.

Na avaliação das estruturas de mercado e de governança há diferentes percepções por parte dos agentes dos quatro segmentos da cadeia analisados. Em uma análise geral, as estruturas de mercado e de governança foram consideradas muito desfavoráveis à competitividade pelos segmentos entrevistados, ou seja, pesquisa, indústria, governo e empresas. Dessa forma, são determinantes da falta de desempenho competitivo da cadeia.

Analisando a estrutura de mercado da cadeia produtiva do hidrogênio, constatou-se que a maioria dos entrevistados atuam há mais de 10 anos no referido setor. Este é um bom índice, considerando o histórico da tecnologia de produção de hidrogênio e células a combustíveis. O agente entrevistado A11, inclusive, afirmou “o hidrogênio e a célula a combustível estão prontos para entrarem no mercado. Estamos prontos para a produção em

grande escala”. Consideram o tempo de atuação das firmas instaladas no país como favorável para a competitividade do hidrogênio no Brasil.

Contudo, os agentes entrevistados dos diferentes segmentos classificaram a avaliação da estrutura de mercado e governança como negativa (muito desfavorável) em virtude do pequeno número de firmas que produzem hidrogênio e a consequente concentração do mercado. O representante da ELETROCELL comentou que em seu segmento, além do pequeno número de firmas voltadas à produção de hidrogênio, as existentes no país também são relativamente pequenas. Já o hidrogênio com fins industriais possui uma quantidade maior de indústrias produtoras, o que é justificado pela maior demanda.

De maneira adicional, o nível de concentração de mercado do hidrogênio é alto e restrito para alguns segmentos da indústria produtora de gases industriais, segundo a representante do LabTech (A4) e o representante do IPEN (A10). O agente A10 comentou que existe um monopólio por parte da Petrobras para o hidrogênio produzido a partir de gás natural, embora o agente A11 tenha afirmado que, em termos de gases industriais – como o hidrogênio, por exemplo - existem no país um grupo pequeno de empresas produtoras de gases industriais, sendo as maiores, empresas multinacionais. Quatro dessas empresas foram acusadas de formação de cartel. O poder de mercado dessas empresas influencia o preço do hidrogênio no país, pois “cada empresa cobra o que lhe convém”. Contudo, o representante da ELETROCELL ainda afirmou que prefere comprar da empresa nacional, pois fornecem hidrogênio a um preço mais vantajoso.

Já o mercado de hidrogênio energético é considerado “praticamente nulo” para o A2. Para essa finalidade, o interesse vem de pesquisadores envolvidos em pesquisas energéticas, afirmando “não existe parcela de mercado para o hidrogênio como energético” o que justifica a existência da dificuldade em alcançar a economia de escala. Nesse sentido, o A9 relata “não há meios de concorrer por enquanto, já que não há produção em série”.

Além disso, ao analisar a estrutura de mercado da cadeia produtiva do hidrogênio, todos os profissionais consultados avaliam como insuficiente a quantidade produzida deste energético, apesar de existir escala de produção para fins industriais e considerarem a produção anual de hidrogênio para essa finalidade como favorável para a competitividade do hidrogênio no país. Existe demanda e interesse pela maioria dos entrevistados para aumento de produção de hidrogênio no país. A maioria dos especialistas analisaram como favorável a capacidade de ampliação da escala de produção.

Quanto à disponibilidade comercial do H<sub>2</sub> no mercado (tecnologia comprovada), o agente A10 afirmou que “algumas tecnologias de produção já existem e estão maduras”.

Nesse contexto, os entrevistados apontaram como sendo mais competitiva para fins energéticos no Brasil a tecnologia do uso do gás natural como matéria-prima. Na visão dos mesmos, os prazos para a comercialização de hidrogênio energético no Brasil, a partir do processo de reforma a vapor do gás natural ficam em torno de 10 anos. O prazo para a reforma a vapor do etanol é de 20 anos. Já a gaseificação da biomassa, eletrólise da água e células a combustíveis receberam prazos de mais de 20 anos.

Quanto às atuais barreiras à comercialização de hidrogênio no Brasil e suas possíveis reduções, de forma geral, os entrevistados recomendaram que primeiramente dever-se-ia tirar o monopólio da Petrobras, aumentar a produção de hidrogênio para suprir a demanda, investir em pesquisa e desenvolvimento em novas tecnologias de produção e também no que se refere ao transporte e armazenamento no sentido de melhorar a infraestrutura existente. Outra dificuldade apontada é a resistência por parte dos fabricantes que precisarão aprender a produzir as novas tecnologias.

A escala de produção interfere no poder de negociação com as empresas/instituições, já que na opinião dos entrevistados, normalmente no Brasil, quando empresas possuem uma grande capacidade de produção, estas, na maioria, não possuem interesse em fazer parcerias com instituições de pesquisas.

Na visão do representante do LH2, as experiências com parcerias entre pesquisadores e indústria não foram bem sucedidas, havendo muita dificuldade em firmar tais parcerias. O que tem dado certo, atualmente, na visão desse agente, são as incubadoras (anexas, parceiras, às universidades) empresas de base tecnológicas que, por estarem inseridas nas universidades, conhecem todos os trâmites, regras, burocracias e prazos. No entanto, existem algumas parcerias de instituições de pesquisa com empresas como a Electrocell/SP, Chesf e Eletrobras/cepel.

A falta de um sindicato e a inexistência de um contrato mais formal entre empresas/pesquisadores/indústria foram apontados pelos agentes como desfavorável para a competitividade da cadeia do hidrogênio energético. Além disso, a falta de um sindicato influencia nos preços, como os insumos e o hidrogênio das indústrias de gases industriais, como ressaltou o representante da Electrocell. Isso porque com existência e a presença de um sindicato nas negociações, permitiria com que os preços não fossem abusivos, sendo tabelados, e impediria também que as grandes indústrias de gases industriais no país ditassem “as regras” nesse setor.

Quadro 19: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Estrutura de Mercado e Governança, na visão dos agentes.

<b>Direcionador: Estrutura de Mercado e Governança</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de atuação no mercado, garantindo experiência e conhecimento nos processos;</li> <li>• Disponibilidade comercial do H2 no mercado industrial;</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo numero de indústrias/empresas produtoras;</li> <li>• Alto nível de Concentração (concorrência) de Mercado;</li> <li>• Baixa escala de produção;</li> <li>• Condições logísticas desfavoráveis;</li> <li>• Ausência de parcerias e contratos;</li> <li>• Ausência de sindicatos;</li> <li>• Pouca relação com a indústria, pesquisa, governo e fabricantes de CaC.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir o nível de concentração de mercado;</li> <li>• Reduzir o poder de mercado;</li> <li>• Ganhar escala de produção;</li> <li>• Estreitar as relações entre a indústria, pesquisa, governo e fabricantes de CaC.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivar a incubação de empresas, com o apoio necessário à diminuição da taxa de mortalidade de novos negócios;</li> <li>• Promover o acesso das empresas de base tecnológica aos recursos de pesquisa e desenvolvimento para que possam atuar, coordenadamente, na busca de menores custos na produção de equipamentos e sistemas;</li> <li>• Apoio, investimentos e incentivos por parte do governo para novas indústrias e empresas;</li> <li>• Fomentar a parceria entre empresas brasileiras e estrangeiras, de modo a atrair recursos e conhecimentos para aumentar a competitividade da indústria nacional;</li> <li>• Incentivar o desenvolvimento de ganhos de escala para que os equipamentos desenvolvidos no Brasil se tornarem competitivos já que seu fornecimento é uma das formas de ampliar a capacidade de produção das empresas nacionais visando à diminuição dos custos de produção por ganhos de escala;</li> <li>• Investimentos no desenvolvimento do país em nichos de “tecnologias limpas”;</li> <li>• Criação e consolidação de um mercado de sistemas energéticos baseados em hidrogênio e CaC através da identificação e participação de todos agentes envolvidos;</li> <li>• Atuar com eficiência na transferência de tecnologia das universidades e centros de pesquisa para as empresas, com o intuito de aumentar a competitividade da economia brasileira, inclusive através de mecanismos de cooperação internacional;</li> <li>• Interação entre grupos de PD&amp;I e empresas da área de tecnologias do hidrogênio, incentivando o deslocamento da pesquisa básica em direção à pesquisa aplicada;</li> <li>• Criação de sindicatos, visando a atuação nas parcerias, formação de preços e nos trâmites contratuais.</li> </ul>

### 6.2.1.5 Ambiente Institucional

Apesar de os entrevistados acreditarem que os programas governamentais são fracos em relação à cadeia produtiva do hidrogênio, o envolvimento do MME e MCTI com o Roteiro Beta e com o ProH2 é visto como um ponto-chave. Segundo o entrevistado A8, o MME elaborou a política brasileira do hidrogênio que tem como objetivo a diversificação da

Matriz Energética Brasileira. Esta política trata de temas como produção, armazenamento e a logística de distribuição do hidrogênio. Já o MCTI, responsável pelo programa, inicialmente identificou as competências nas universidades e institutos de pesquisas e criou as redes, onde, num primeiro momento após o Roteiro Beta, trouxe grandes benefícios para o país e para estas instituições como: implantação e reforma dos laboratórios, compra de novos equipamentos de análises para caracterização físico-química dos materiais e também trouxe benefícios para os próprios pesquisadores que puderam desenvolver novos equipamentos, novos materiais, novos catalisadores e publicação artigos em revistas científicas nas respectivas áreas.

Dessa forma, na implantação de projetos envolvendo diversos sistemas como as CaC de diferentes tecnologias e produção de hidrogênio a partir de gás natural e de fontes renováveis, com ênfase na utilização do etanol, o envolvimento de ambos os ministérios e suas respectivas ações trouxeram avanços no setor. A descontinuidade de algumas ações e projetos prejudicou o desenvolvimento da cadeia produtiva do hidrogênio. Para o representante do LH2 - entrevistado A1-, o PROH2 recebeu alguns incentivos, mas foi pouco, diante da demanda na pesquisa.

Ao avaliar como estão os programas/políticas brasileira em relação ao uso de hidrogênio energético no Brasil, o representante do IPEN (uma das instituições que compunha quatro das cinco redes criadas) disse que “no início a evolução dos projetos estava bem, teve um ótimo início! Com o tempo, foi deixando de ser prioridade para o país e, hoje, acredito que a maioria dos programas estão paralisados”. Quanto à interação do Roteiro Beta com as Universidades, Empresas, Órgãos governamentais e Institutos de Pesquisa, sua opinião é que “no início, ocorreu uma boa interação entre os pares, mas hoje praticamente não existe esta interação com grande intensidade”. Essa interação se perdeu ao longo dos anos e, atualmente, praticamente não existe mais esta interação entre governo-universidade: “as discussões acontecem dentro de cada rede onde as instituições fazem parte. Existe um coordenador geral para cada rede e um representante de cada instituição participante. As decisões são tomadas em comum acordo entre as partes”, afirmou o entrevistado A10.

Para a representante do MCTI, da criação do Roteiro Beta pra cá não houve mais interesse por parte do governo em função das seguintes situações: houve valorização do gás natural no país pelo descobrimento do pré sal; aumento da disponibilidade do petróleo e, além disso, a PETROBRAS reduziu os investimentos em H<sub>2</sub>. Já na opinião do entrevistado A5, operador das Atividades do Roteiro e ex-diretor de operações do LACTEC, a falta de interesse em investimentos no hidrogênio energético está relacionado com os acontecimentos

internacionais “acho que no mundo inteiro diminuiu o interesse, principalmente porque os EUA diminuíram o investimento depois da entrada do Obama (hidrogênio era um ponto forte da política do Bush)”. O representante do LH2 (A1) ainda completou “o Roteiro Beta praticamente não funcionou depois que a Dilma deixou de ser ministra do MME. Foi ela quem conduziu a parceria do Brasil no IPHE, quando era ministra do MME”.

Se o envolvimento do governo com as ações propostas no Roteiro Beta não é dos melhores, por outro lado, o envolvimento das instituições de pesquisas com o Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio e com o Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio foi classificado como envolvimento pleno pelos pesquisadores.

Na visão do economista entrevistado (A7), os programas governamentais existentes não são mais adequados para a produção de hidrogênio no país, pois “os programas de incentivo a pesquisa (sobretudo o que possibilitou às empresas elétricas a deduzirem seus gastos no fundo de investimento em P&D da ANEEL) foram muito bons na década passada, quando os maiores esforços eram na direção de criar condições para a produção comercial do hidrogênio. Acredito que já está na hora de se repensar os mecanismos de incentivo a pesquisa e produção de hidrogênio, uma vez que já se passaram uma década sem os frutos tão desejados”.

Na visão do representante do IPEN (A10), a responsabilidade pelo desenvolvimento de políticas e programas voltados à produção e hidrogênio no país são os ministérios MCTI, MME e o MDIC.

Por fim, o agente A7 ressaltou a necessidade de criar uma política industrial para produção de hidrogênio, porém, ela deve incluir alguns atores que ainda não foram totalmente inseridos nos programas, mas participam da cadeia como os grandes consumidores de energia elétrica e o setor petroquímico.

No ambiente internacional, a participação do Brasil na IPHE (parceria internacional criada em 2003) é vista com um ponto positivo por todos os agentes da cadeia. Porém, nas últimas reuniões, segundo a representante do MCTI, o Brasil tem participado muito pouco. Além disso, os representantes do governo brasileiro não têm ido às reuniões, preferindo enviar pesquisadores brasileiros para representar o país nas reuniões, como ressaltou o representante do LH2.

O entrevistado (A6) chegou a declarar que, na ocasião em que estudava a tecnologia e implantação de um carro movido a hidrogênio no Brasil, buscou parcerias internacionais, como o Canadá, por exemplo, que é uma grande referência em desenvolvimento tecnológico

de células a combustíveis. Na época, lembrou o entrevistado, “os representantes de CaC nesse país afirmaram que não teriam dúvidas em apoiar o Brasil no setor de CaC, ajudando o país em se tornar um dos maiores produtores”. O entrevistado considera que deve existir um grande investimento a partir setor privado também, afirmando ter buscado parcerias em empresas privadas, como a Toyota, para investir no setor automobilístico, na produção de carros movidos a hidrogênio.

Quadro 20: Antes e Depois dos Programas/Políticas voltadas a E.H.

Programa/Política	Antes	Depois
IPHE	Condução, por parte do MME, na parceria do Brasil com os EUA e os demais países participantes. Presença nas reuniões.	Pouco interesse por parte do Brasil em continuar a parceria. Pouco envolvimento nas reuniões.
PROH2	Seu responsável, o MCTI, inicialmente identificou as competências nas universidades e institutos de pesquisas e criou as redes, onde, num primeiro momento após o Roteiro Beta, trouxe grandes benefícios para o país e para estas instituições.	Recebimento de alguns incentivos, mas foi pouco, diante da demanda na pesquisa. Baixo investimento financeiro.
Roteiro Beta (MME)	Política brasileira do hidrogênio, elaborada pelo MME, com o objetivo da diversificação da Matriz Energética Brasileira, tratando de temas como produção, armazenamento e a logística de distribuição do hidrogênio.	Fraco envolvimento por parte do MME e suas respectivas ações não trouxeram avanços no setor.

Quanto ao acesso ao crédito para a produção de hidrogênio no país, foi classificado como importante para desenvolver a cadeia do hidrogênio como vetor energético visto que, “em alguns casos pontuais, onde já há demanda estabelecida para o hidrogênio, o acesso ao crédito facilitaria a expansão da produção, mas só em casos de produtores já estabelecidos fazendo uso de tecnologias tradicionais”, segundo o agente A7. Os agentes do setor afirmaram que não tiveram acesso ao crédito com baixas taxas de juros.

Os incentivos fiscais foram apontados como mais indicados para a expansão das pesquisas e o estabelecimento de novas formas/processos de obtenção do energético. Na visão do economista (A7), “os incentivos fiscais priorizaram muito a construção de uma oferta de hidrogênio concentrada e os resultados obtidos ainda não são tão motivadores assim. O setor pode ter um novo patamar de competição se as linhas de créditos apontarem para o fomento da geração distribuída, trazendo com isso grandes consumidores”. Os incentivos fiscais foram apontados como muito favoráveis para a competitividade do hidrogênio no Brasil, embora não existentes no país ainda.

Outro fator contra é que para as indústrias multinacionais instaladas no país, o elevado índice de capitalização dos concorrentes internacionais, aliado ao fato de terem acesso à linhas de crédito mais baratas, lhes permitem superar eventuais barreiras provocadas



por demandas de capital. O agente entrevistado representante da Novocell (A9) afirmou que no Brasil, além de não receberem auxílios e incentivos fiscais por parte do governo, os impostos são altíssimos (vendendo ou não o produto), o que dificulta a concorrência. Já em outros países que possuem tecnologias mais desenvolvidas de CaC, além de os juros serem bem inferiores, comparado aos do Brasil, os acessos às linhas de crédito são mais facilitados. Compartilhou o desejo de fechar sua empresa do Brasil e reinstalá-la em outro país que auxilie empresas que vendem e desenvolvem CaC.

Como recomendações o agente A4 sugeriu a “ampliação de investimento governamental e privado”. O entrevistado A6 completou ”incentivos em PD&I, com aplicação prática no mercado. Sem mais trabalhos, artigos, explicando tantas fórmulas dos processos. Estamos bem preparados. O que precisamos é uma maior dedicação quanto ao mercado e programas e políticas eficazes”.

O Quadro 21 apresenta, em síntese, os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Ambiente Institucional.

Quadro 21: Pontos fortes, fracos, desafios e recomendações referentes ao direcionador Ambiente Institucional.

<b>Direcionador: Ambiente Institucional</b>	
<b>Pontos Fortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação, por parte do MCTI, das competências nas universidades e institutos de pesquisas e criou as redes, onde trouxe grandes benefícios para o país e para estas instituições num primeiro momento após o Roteiro Beta.</li> </ul>
<b>Pontos Fracos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo incentivo fiscal;</li> <li>• Baixo incentivo às linhas de crédito;</li> <li>• Muita burocracia;</li> <li>• Os poucos investimentos por parte do MCTI são mais para pesquisa do que na indústria;</li> <li>• Ausência de uma política que contemple o hidrogênio no mercado energético.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Educar a sociedade para novos padrões de consumo, alterando o atual estilo de vida;</li> <li>• Interação restrita entre o conhecimento científico e tecnológico;</li> <li>• Criação de empregos e empregar mão de obra especializada;</li> <li>• Criar uma rede de fornecedores, utilizar a tecnologia nacional e ainda concorrer com produtos incentivados fabricados no exterior;</li> <li>• Medidas políticas e institucionais para superar os gargalos enfrentados pelas empresas envolvidas no desenvolvimento de sistemas de produção de hidrogênio por meio de reforma de etanol, eletrólise e gaseificação.</li> </ul>
<b>Recomendações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliação e investimento governamental e privado em programas e políticas públicas;</li> <li>• Criação de uma política energética no Brasil;</li> <li>• Envolvimento do MME e MCTI com o Roteiro Beta e com o ProH2;</li> <li>• Traçar diretrizes para Elaboração da Política Energética no Brasil, usando o hidrogênio como vetor energético;</li> <li>• Aumento da carga tributária sobre a importação de sistemas completos de produção de hidrogênio e de células a combustível completas, visando equilibrar os incentivos oferecidos a estes equipamentos em seus países de origem;</li> <li>• Redução da carga tributária sobre a importação de componentes para tecnologias de hidrogênio e células a combustível, visando à diminuição dos custos de aquisição de equipamentos não disponíveis no Brasil;</li> <li>• Concessão de editais de subvenção econômica para empresas localizadas em todo o território nacional com a indicação de temas relacionados à tecnologia do hidrogênio como área de interesse e/ou abertura de linhas de financiamento do BNDES;</li> <li>• Empresas de base tecnológica e de pequeno porte devem ter tratamento diferenciado, visando a sua consolidação no mercado;</li> <li>• A abertura, no curto prazo, de linhas específicas de financiamento para empresas de pequeno e médio porte nacionais, direcionadas à aquisição de equipamentos e infraestrutura, por parte da FINEP ou BNDES ou até FAPs.</li> </ul>

### 6.2.2 Nova SWOT a partir da pesquisa de Campo

A nova SWOT (Quadro 22) foi construída a partir da pesquisa de campo, com os agentes selecionados no setor. Muitas das características apontadas na matriz SWOT elaborada a partir da revisão bibliográfica pôde ser validada em campo. Contudo, nessa nova matriz, foram ressaltados apenas os pontos fortes, fracos, fraquezas e ameaças da E.H. no Brasil. A partir da matrizes, pode ser feita a triangulação dos dados, ou seja, a matriz SWOT cruzada.

**Quadro 22: Análise SWOT da E.H. no Brasil, a partir da pesquisa de campo.**

<b>Interno</b>	<b>Externo</b>
<p style="text-align: center;"><b>Forças (S)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecnologias de produção bem desenvolvidas;</li> <li>- Consolidado nível tecnológico da produção do hidrogênio a partir do gás natural;</li> <li>- Criação de incubadoras (microempresas anexas) dentro da Universidade;</li> <li>- Disponibilidade de matéria-prima no país;</li> <li>- Preocupação com o controle da qualidade e impacto ambiental;</li> <li>- Contribuição das instituições como estudos direcionados às áreas de hidrogênio e células a combustível, além de materiais publicados e ensino em disciplinas de graduação e pós-graduação;</li> <li>- Existência de profissionais e pesquisadores no país, para suprir a demanda atual;</li> <li>- Tempo de atuação no mercado, garantindo experiência e conhecimento nos processos;</li> <li>- Disponibilidade comercial do H<sub>2</sub> no mercado industrial;</li> <li>- Identificação, por parte do MCTI, das competências nas universidades e institutos de pesquisas e criou as redes, onde trouxe grandes benefícios para o país e para estas instituições num primeiro momento após o Roteiro Beta.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Oportunidades (O)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diversificação da matriz energética: energia renovável;</li> <li>- Novas tecnologias aprimorando os automóveis: uso veicular;</li> <li>- Pesquisas para o desenvolvimento catalisadores mais eficientes e mais baratos;</li> <li>- Disponibilidade de insumos para produção e expansão do setor no Brasil;</li> <li>- Clima e solo adequados à cultura de etanol e extensas áreas disponíveis ao seu plantio;</li> <li>- Etanol apresenta maiores vantagens competitivas, pela experiência existente no país;</li> <li>- Infraestrutura do gás natural já instalada para transporte e armazenamento;</li> <li>- Sistema elétrico interligado por redes;</li> <li>- Constantes ausência de chuvas;</li> <li>- Crise energética;</li> <li>- Amplas pesquisas para o uso de biomassa, reduzindo os impactos ambientais associados. Produção de biomassa no Brasil apresentou um importante salto tecnológico;</li> <li>- Inclusão energética e social;</li> <li>- Potenciais nichos de mercado para a produção de equipamentos e serviços.</li> </ul>

<b>Fraquezas (W)</b>	<b>Ameaças (T)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimentos em PD&amp;I brasileiros não são considerados suficientes;</li> <li>- Recursos financeiro limitados e falta de aporte dos recursos;</li> <li>- Número de patentes inferior aos outros países;</li> <li>- Ainda não foi implantada comercialmente a tecnologia de CaC;</li> <li>- Fontes renováveis em estágio de pesquisa e desenvolvimento no país;</li> <li>- Ausência de infraestrutura instalada para transportar e armazenar o H<sub>2</sub>;</li> <li>- Preço pago pelos insumos;</li> <li>- Condições logísticas desfavoráveis. Falta de infraestrutura para armazenamento e transporte;</li> <li>- Alto custo em transporte, nos catalisadores, na produção de H<sub>2</sub> e consumo de energia;</li> <li>- Certificações nacionais baseadas em padrões internacionais já existentes;</li> <li>- Falta de suporte à criação de normas e regulamentos;</li> <li>- Pouca participação do Brasil na elaboração das normas internacionais;</li> <li>- Inexistência de competitividade na produção de hidrogênio energético no Brasil.</li> <li>- Baixa escala de produção;</li> <li>- Baixo número de indústrias/empresas produtoras;</li> <li>- Alto nível de Concentração (concorrência) de Mercado;</li> <li>- Ausência de parcerias, contratos e de sindicatos;</li> <li>- Pouca relação com a indústria, pesquisa, governo e fabricantes de CaC;</li> <li>- Ausência de disponibilidade comercial do hidrogênio energético;</li> <li>- Outros combustíveis mais desenvolvidos no país podem realizar o atendimento energético e competir em condições de igualdade com o hidrogênio;</li> <li>- Baixo incentivo fiscal e às linhas de crédito;</li> <li>- Muita burocracia;</li> <li>- Ausência de uma política que contemple o hidrogênio no mercado energético;</li> <li>- Baixo nível de investimento no país. Os investimentos brasileiros não são considerados suficientes;</li> <li>- Os poucos investimentos por parte do MCTI são mais para pesquisa do que na indústria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade de entrada das novas tecnologias no mercado;</li> <li>- Recursos financeiro limitados e falta de aporte dos recursos;</li> <li>- Ausência de continuidade dos recursos, o que, muitas vezes, inviabiliza a pesquisa;</li> <li>- Atraso no desenvolvimento brasileiro;</li> <li>- Alto preço dos carros híbridos;</li> <li>- Uso de outros energéticos;</li> <li>- Ausência de demanda;</li> <li>- Crise financeira nacional;</li> <li>- Falta de padrões nacionais definidos;</li> <li>- Deficiência na formação e fixação de recursos humanos nas instituições de PD&amp;I;</li> <li>- Indústrias multinacionais dominam o mercado de gases industriais brasileiro;</li> <li>- Outras áreas de interesse estratégico para o país;</li> <li>- Falta de aproximação dos pesquisadores brasileiros do mercado;</li> <li>- Problemas nas parcerias e relacionamento entre universidade e empresas;</li> <li>- Ausência de uma política de renováveis;</li> <li>- Ausência de uma política industrial;</li> <li>- Financiamento e taxa de juros da economia;</li> <li>- Taxa de câmbio;</li> <li>- Altos impostos cobrados pelo país, mesmo quando não vende.</li> </ul>

### 6.3 Triangulação dos resultados e análise comparativa

A partir da análise da Matriz SWOT, um plano de ações estratégicas pode ser gerado e aplicado. A Matriz TOWS (SWOT ao contrário) mostra como características externas - oportunidades e ameaças - podem ser ajustadas com os pontos positivos e negativos internos da(s) empresa(s) e/ou indústria(s) (Figura 30), o que resultará em quatro grupos de alternativas estratégicas (HUNGER E WHEELEN, 2002), todas em função da vantagem competitiva em torno da E.H..

- As estratégias SO (Ataques) são criadas supondo situações em que a organização pode escolher usar seus pontos fortes (forças) para aproveitar as oportunidades;
- As estratégias ST (Confronto) usam as forças de uma organização como forma de evitar ameaças;
- As estratégias WO (Reforço) usam as oportunidades para superar as fraquezas (pontos fracos);
- As estratégias WT (Defesa) são utilizadas para reduzir os pontos fracos e evitar ameaças. São essencialmente defensivas.

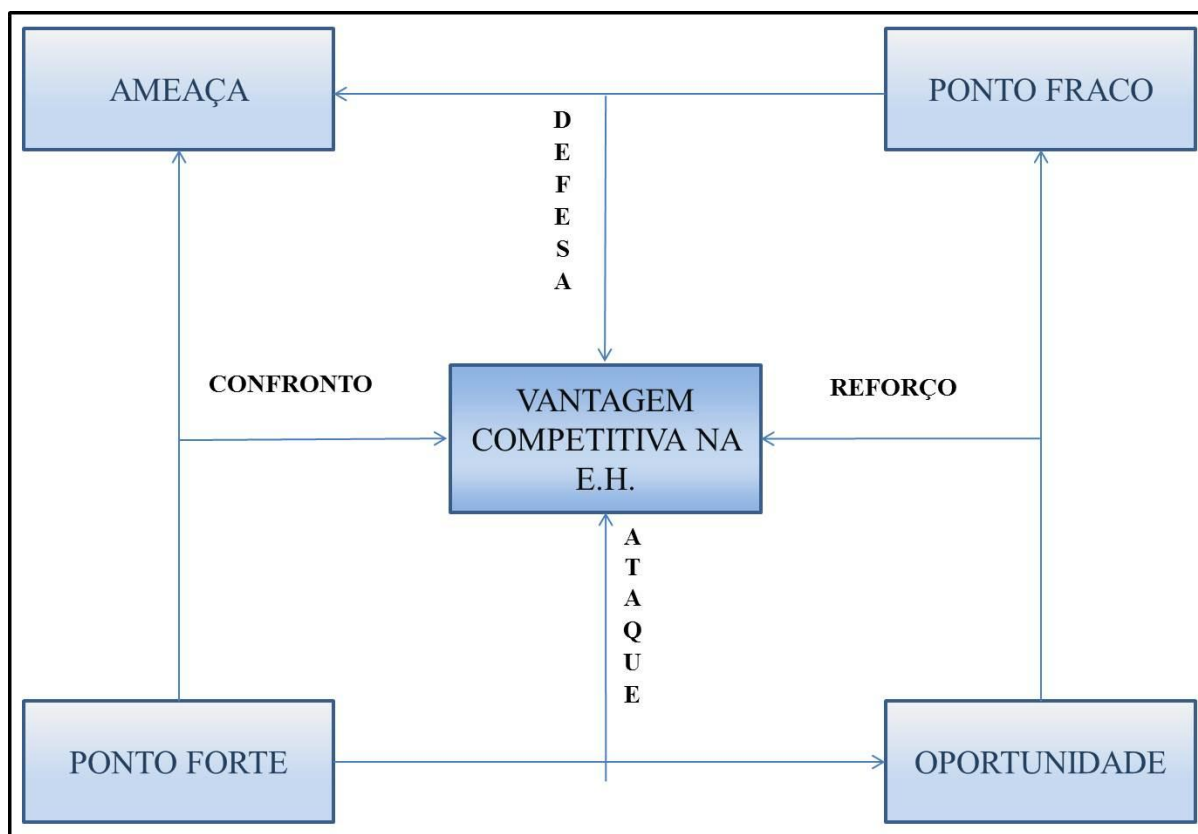


Figura 30: Estratégias alternativas a partir da matriz SWOT cruzada.

A Figura demonstra, de forma sintetizada, as relações entre as categorias que foram criadas e de que forma as forças, oportunidades, fraquezas e ameaças geram vantagem competitiva ao hidrogênio no mercado brasileiro.

Para cada força (ponto forte) que surge, uma oportunidade é usada, seja na criação de processos eficientes, redução de custos, no desenvolvimento de melhorias de produto etc., que podem ser usadas para superar as fraquezas e obstáculos existentes. As estratégias SO usam as forças para obter vantagem competitiva.

Da mesma forma, a identificação das fraquezas (pontos fracos) é importante pois estes podem ser usados para transpor e/ou evitar as ameaças. As estratégias WT reduzem perdas e evitam ameaças para obter vantagem competitiva. As oportunidades devem ser bem aproveitadas para superar as fraquezas (estratégias WO) e deve-se considerar as forças para evitar ameaças (ST).

Dessa forma, nota-se a integração entre as categorias para que a partir dela possa ampliar estudos de novas técnicas e estratégias que façam das empresas organismos competitivos e presentes no mercado.

### **6.3.1 Agenda de ações estratégicas para o hidrogênio e CaC**

A partir da coleta de informações da SWOT e sua posterior análise, a etapa seguinte foi traçar as estratégias.

As estratégias competitivas adotadas pelas empresas elétricas são fundamentais para assegurar a consolidação da indústria, na operação diária das empresas.

No bojo de um processo de planejamento de médio prazo, a agenda de ações estratégicas para a cadeia produtiva do hidrogênio é o conjunto de ações e atividades necessárias para atingir as metas estabelecidas e, por conseguinte, os objetivos pretendidos.

Dessa forma, nessa seção, são levantadas algumas ações na formulação de estratégias competitivas, por área estratégica, que leve os agentes a olharem além do processo de transição para o novo desenho institucional do Setor Elétrico Brasileiro, o que pode assegurar a permanência das boas condições atuais para o setor.

A proposição é de que a avaliação das estratégias competitivas seja uma ferramenta de trabalho para o setor, oferecendo aos agentes dessa possível cadeia produtiva de energia elétrica, um primeiro mapa ou “check list” para o planejamento e operação de seus negócios.

As seguintes ações são sugeridas para compor a estratégia do setor, acelerando o desenvolvimento da economia do hidrogênio. Dentre os projetos a seguir, alguns são exclusivos da iniciativa privada, outros são públicos e outros uma combinação dos dois.

#### **6.3.1.1 Projetos, decisões e ações referentes à PD&I através de investimentos tecnológicos em hidrogênio e CaC:**

Uma variedade de ações são recomendadas para o setor nesta área de pesquisa, desenvolvimento e inovação tanto do hidrogênio como das CaC. As principais estão destacadas abaixo:

- Organizar e estruturar estrategicamente as atividades das redes cooperativas de PD&I e de negócios tecnológicos, com enfoques regionais, abrangendo não somente as universidades, institutos de pesquisa, centros de pesquisa, incubadoras, mas também indústrias, empresas e o governo, determinando as competências e potenciais de cada um, de forma a otimizar os investimentos e procurando evitar redundâncias desnecessárias ou pulverização dos recursos;
- Criação de mais plantas experimentais;
- Levantar oportunidades de inovações no sistema produtivo, lançamento de novos produtos e analisar produtos e linhas de produtos, bem como linhas de produtos complementares;
- Incentivo à criação de rede energética doméstica, combinando tecnologias;
- Criação de uma plataforma tecnológica digital, com um bancos de dados sobre a tecnologia nacional, que mostre as pesquisas de CaC e hidrogênio desenvolvidas no Brasil (o que, quando, onde e as competências dos agentes nacionais envolvidos), a fim de que haja integração entre as redes e estabeleça estratégias de investimento;
- Transmissão e acesso às informações dos centros tecnológicos/pesquisa. Montagem de um Sistema de Informações para que o setor esteja sempre informado e tomando decisões com suporte e embasamento;
- Equilíbrio nos investimentos e Incentivo ao deslocamento da pesquisa básica em direção à pesquisa aplicada das atividades de PD&I desenvolvidas no Brasil afim de que alcance um preço final atrativo para o consumidor, aumente a durabilidade (vida útil) e a economicidade os projetos a reduza os custos de produção dos materiais, dispositivos, componentes e sistemas;

- Apoio para a revitalização e melhoria da infraestrutura de pesquisa das instituições envolvidas no ProH<sub>2</sub>;
- Promover a redução significativa, através dos avanços tecnológicos, dos custos de produção a fim de elevar a economicidade dos projetos;
- Desenvolvimento e obtenção de componentes, novos produtos, processos e tecnologias em sistemas energéticos baseados em células a combustível para posterior comercialização;
- Desenvolvimento de base tecnológica para auferir confiabilidade aos consumidores. Inovação no centro de estratégia, com o desenvolvimento voltado para tecnologias sustentáveis;
- Busca por novas tecnologias para: desenvolver novos catalisadores mais eficientes e robustos e outros processos produtivos, como o da reforma autotérmica; (WT – Defesa);
- Realizar estudos sobre o uso de biomassas sólidas e líquidas no gaseificador e eficiência de processos industriais;
- Realizar esforços para automatizar o processo de gaseificação e realizar o desenvolvimento de catalisadores capazes de remover o alcatrão proveniente do processo e resistentes à ação do enxofre;
- Construção de núcleos de engenharia responsável pelo desenvolvimento contínuo da inovação nas empresas apoiadas e melhoria dos processos de gestão;
- Incentivar a participação das empresas de base tecnológica nacionais como fornecedoras de equipamentos para os projetos de demonstração das tecnologias de hidrogênio e viabilizar a realização de compras governamentais;
- Utilizar o poder de compra dos vários agentes governamentais para viabilizar, num primeiro momento, a produção e comercialização de carros movidos a hidrogênio no país, visando ao mercado automobilístico e de ônibus urbanos;
- Uso pelas universidades, indústrias e empresas de frotas de carros e ônibus movidos a hidrogênio;
- Investimento no mercado de células a combustível (CaC), visando aperfeiçoamento de componentes, produtos e sistemas, bem como de seus respectivos processos de fabricação. Aplicação da tecnologia no mercado;
- Apoiar projetos de demonstração de sistemas energéticos baseados em células de eletrólito polimérico, com potência de até 10 kW, adequados para atender nichos de mercado,



que serão instalados em universidades e centros de pesquisa visando a formação de recursos humanos na operação de tais sistemas e para ensaios de tempo de vida;

- Adicionar de 1% a 10%  $m^3/m^3$  de hidrogênio produzido a partir de energias renováveis ao gás natural utilizado no país. Isso pode ser feito respeitando-se a Resolução ANP nº16 que estabelece a composição do gás natural e o intervalo de poderes caloríficos para comercialização. Estima-se que essa quantidade represente de 1,4% a 14% do hidrogênio produzido no Brasil anualmente (CGEE, 2010);

- Incentivar o desenvolvimento tecnológico para a produção em escala comercial, inicialmente, através do etanol e gás natural, por já existir infraestrutura instalada no país para distribuição;

- Incentivar a disseminação da nova tecnologia através de mecanismos de participação das indústrias de base e da criação de infraestrutura adequada, tanto da rede elétrica quanto da distribuição de combustíveis;

- Promover a difusão de tecnologias-chave para os empresários do setor, desenvolvendo a relação entre pesquisadores, indústria e empresas de CaC;

- Viabilizar e garantir do licenciamento de patentes, principalmente em nível internacional, para capturar valor em cima das exportações de tecnologia e evitar a “livre importação” de tecnologia;

- Redução significativa, através dos avanços tecnológicos, dos custos de produção a fim de elevar a economicidade os projetos.

### **6.3.1.2 Projetos, decisões e ações referentes aos insumos e infraestrutura da cadeia**

Uma série de ações são recomendadas quanto a insumos e infraestrutura usados para a produção de hidrogênio e CaC, como as apontadas abaixo:

- Investir em pesquisas e desenvolvimento de catalisadores mais eficientes e mais baratos;

- Substituir o uso da platina por metais mais baratos na composição dos catalisadores das CaC e manter a eficiência;

- Instituir e aperfeiçoar a infraestrutura básica de pesquisa na área e futura comercialização;

- Investir e apoiar a revitalização e melhoria da infraestrutura de pesquisa das instituições envolvidas no  $ProH_2$ ;

- Estimular a integração e diversificação dos insumos alternativos (renováveis), com enfoque regional, voltados para a produção de hidrogênio;
- Uso de energias renováveis como os diferentes tipos de biomassa disponíveis no Brasil;
- Aproveitar insumos de baixo valor agregado como fonte de biomassa para a produção de hidrogênio;
- Concentrar a pesquisa em poucos insumos para concentrar os esforços evitando a pulverização da pesquisa;
- Analisar os canais de distribuição definindo objetivos de distribuição, tais como: apoios e incentivos, concentração e parcela de mercados, tipo e número de pontos de venda, infraestrutura, orçamento anual, serviços ofertados e demais informações de mercado;
- Escolha inicial pelo uso dos processos de conversão do gás, pois além de economicamente atrativos, são atividades industriais que não requerem insumos nem geram rejeitos agressivos ao meio ambiente;
- Usar as próprias redes de gás natural para transporte, inicialmente, promovendo a existência de infraestrutura local de distribuição até o consumidor final, seja em redes de gasodutos ou do transporte e revaporização de GNL para o uso direto como combustível ou para geração de energia elétrica exige;
- Investir em pesquisas e desenvolvimento nas áreas de transporte e armazenamento do hidrogênio;
- Criar um sistema elétrico interligado, aproveitando as redes existentes;
- Desenvolver sistemas práticos de estocagem, especialmente para os automóveis.

### **6.3.1.2 Projetos, decisões e ações referentes à gestão e capacitação de recursos humanos:**

Uma variedade de ações são recomendadas para o setor quanto a gestão e capacitação dos recursos. As principais delas estão destacadas abaixo:

- Formar e capacitar recursos humanos para atender uma possível demanda energética;
- Criação de centros capacitados a certificar os equipamentos desenvolvidos no país a fim de atestar sua conformidade normativa e de especificação e qualidade, promovendo um suporte maior à cadeia através de metrologia, normalização, regulamentação técnica e

avaliação da conformidade e o aumento da confiabilidade metrológica nas medições em sistemas de células a combustível;

- Implantar programas de capacitação em NCP (normas, códigos e padrões) e segurança para as equipes técnicas de produção de H<sub>2</sub> e CaC e o público em geral;

- Formação e treinamento de recursos humanos em planejamento e gestão para o sistema produtivo, com ênfase à pós-graduação no Brasil e aperfeiçoamento em centros de excelência no Brasil e no exterior;

- Mapear os cursos existentes no Brasil (nível médio, superior e pós) essenciais para a E.H. e a sua distribuição espacial. Planejar, com o Ministério da Educação, o fomento a concessão de bolsas e incentivos à pesquisa, além da continuidade à formação de recursos humanos por meio de bolsas de estudos em todos os níveis;

- Incentivar e promover a adequada fixação de profissionais nos locais de geração de tecnologia cobertos pelo PROH<sub>2</sub>, a manutenção das equipes e a continuidade dos projetos nas instituições participantes do PROH<sub>2</sub>;

- Implantar centros de homologação de equipamentos e tecnologias de uso energético do hidrogênio, subordinados ao INMETRO. Melhorar a assistência técnica nas universidades, empresas e indústrias;

- Promover o treinamento técnico da mão-de-obra, em controle de custos, para uso de tecnologias;

- Promover o treinamento em produção de matérias primas, comercialização nacional e internacional e uso energético final;

- Realizar o acompanhamento, às equipes envolvidas e ações corretivas, a fim de que o programa/política proposto seja um documento em constante discussão e atualização no sistema;

- Realização de testes e certificações em componentes e equipamentos desenvolvidos pela indústria, após devida capacitação das instituições de PD&I, em conformidade com o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro) e com as políticas nacionais para Tecnologia Industrial Básica (TIB), baseando na experiência na área das seguintes instituições: INT, CPqD, Lactec, Cepel;

- Investimento em planejamento estratégico nas indústrias produtoras de hidrogênio e que estão no mercado industrial, visando fomentar a cadeia energética além de promover programas que visem e estimulem a desverticalização da produção de hidrogênio;

- Análise de implementação de projetos e planejamentos energéticos. Planejamento de Recursos Integrados (PIR) na participação da indústria nacional de bens e serviços no desenvolvimento da nova economia, sendo uma ferramenta poderosa para a mitigação de impactos ambientais. Apresentação de algumas formas de obtenção de energia renováveis e não renováveis, focando em seus impactos ambientais e se o processo seria competitivo com outras rotas baseadas em fontes renováveis;

- Financiar projetos de demonstração relacionados a nova tecnologia de modo a aumentar a sua visibilidade, atrair novos investimentos, possibilitar treinamento de pessoal, realizar estudos de viabilidade técnica e econômica, etc.;

- Elaborar estudos de viabilidade técnica e econômica (EVTE) para definir os produtos e processos mais adequados ao mercado nacional, e assim, desenvolver um planejamento estratégico eficaz;

- Elaborar estudos sobre a produção de hidrogênio a partir da água utilizando o calor que é dissipado e não aproveitado grandes usinas hidrelétricas brasileiras e/ou os reservatórios durante a madrugada, nos horários fora de pico. À medida que o gás natural for ficando mais escasso e caro, provavelmente a eletrólise ficará competitiva;

- Analisar os potenciais produtivos e capacidades de produção. Elaborar e financiar estudos na comercialização para fins energéticos de produção de hidrogênio, inicialmente, a partir do gás natural e etanol, com preços competitivo ao da gasolina;

- Criar, estabelecer e implementar as primeiras normas e padrões técnicos próprios, a curto prazo, sobre a utilização do hidrogênio energético (pureza, composição química de misturas, parâmetros de desempenho e outras características técnicas de interesse) e a certificação dos processos, tecnologias e produtos de interesse na área para as várias aplicações – estacionárias, móveis e portáteis - por intermédio da ABNT, Inmetro e Ceneh e em colaboração com universidades, institutos tecnológicos e empresas. Adequar os produtos a normas e ao ambiente institucional;

- Maior contribuição, participação e empenho do Brasil no ProH2, quanto a elaboração das normas e certificações relativas a produção de hidrogênio;

- Ampliar a participação nacional, sobretudo na IPHE, na elaboração das normas internacionais garantindo a presença de representantes brasileiros nas reuniões plenárias e de grupos de trabalho, facilitando a exportação de tecnologias desenvolvidas no Brasil;

- Promover o investimento a curto prazo, com recursos do CNPq, Finep e das fundações estaduais de amparo à pesquisa (FAPs), em recursos humanos, nos diferentes níveis;

- Necessidade de equilíbrio entre oferta e procura em função das dificuldades técnicas de estocagem.

#### **6.3.1.4 Projetos, decisões e ações referentes à coordenação à estrutura de mercado e governança**

As principais ações recomendadas para o setor referente a estrutura de mercado e governança são:

- Criação e consolidação de um mercado de sistemas energéticos baseados em hidrogênio e CaC através da identificação e participação de todos agentes envolvidos;

- Levantar, na tentativa de controlar, as ameaças e oportunidades das variáveis incontroláveis tanto no mercado nacional como internacional;

- Investimentos no desenvolvimento do país em nichos mercado e de “tecnologias limpas”;

- Analisar oportunidades para adequação aos objetivos de desenvolvimento sustentável;

- Definir e quantificar os principais objetivos com foco no crescimento sustentável e à solução dos problemas apontados como ameaças e fraquezas para a E.H.;

- Incentivar o desenvolvimento de ganhos de escala para que os equipamentos desenvolvidos no Brasil se tornarem competitivos já que seu fornecimento é uma das formas de ampliar a capacidade de produção das empresas nacionais visando à diminuição dos custos de produção por ganhos de escala;

- Incentivo a criação de novas empresas através de incubadoras, inseridas nas universidades, e outros mecanismos, com o apoio necessário à diminuição da taxa de mortalidade de novos negócios;

- Promover o acesso das empresas de base tecnológica aos recursos de pesquisa e desenvolvimento para que possam atuar, coordenadamente, na busca de menores custos na produção de equipamentos e sistemas;

- Apoio, investimentos e incentivos por parte do governo para novas indústrias e empresas;

- Maior incentivo a maior indústria brasileira de gases no país, a fim de que os próprios consumidores brasileiros dêem preferência para comprar dela e não das multinacionais instaladas no país;
- Redução de formação de cartel entre as empresas produtoras de H<sub>2</sub> no país;
- Desverticalização das empresas, segmentando as atividades de insumos/produção/purificação/armazenamento/transporte/comercialização e/ou uso final;
- Incentivo a superação no mercado de outras renováveis e a energia nuclear que ofereçam risco à implementação do hidrogênio para fins energéticos no Brasil;
- Mapear e descrever as estruturas de mercado e governança existentes e suas características de transações entre os agentes envolvidos;
- Mapear e descrever as estruturas de mercado e governança existentes e suas características de transações entre os principais concorrentes nacionais;
- Mapear e descrever as estruturas de mercado e governança existentes e suas características de transações no comércio internacional de hidrogênio e CaC;
- Análise dos fatores críticos de sucesso do sistema, principalmente do mercado internacional;
- Criação de sindicatos, visando a atuação nas parcerias, formação de preços e nos trâmites contratuais;
- Atuar com eficiência na transferência de tecnologia das universidades e centros de pesquisa para as empresas, com o intuito de aumentar a competitividade da economia brasileira, inclusive através de mecanismos de cooperação internacional;
- Interação entre grupos de PD&I e empresas da área de tecnologias do hidrogênio, incentivando o deslocamento da pesquisa básica em direção à pesquisa aplicada;
- Analisar e mapear os contratos informais existente e as suas formas de coordenação;
- Incentivar parcerias público-privadas para produção, infraestrutura e comercialização, das quais a economia do hidrogênio é dependente;
- Fomentar a parceria entre empresas brasileiras e estrangeiras, de modo a atrair recursos e conhecimentos para aumentar a competitividade da indústria nacional;
- Promover adaptações na estrutura urbana e de transportes, para receber a E.H..

### **6.3.1.5 Projetos, decisões e ações referentes à coordenação e adequação ao ambiente institucional**

Nesta área, são muitas as atividades que devem compor um plano ao setor. As ações político-institucional necessárias são:

- Desenvolver programas para conscientizar o público em geral, através da mídia, da eficiência no uso e geração de energia a partir do hidrogênio e CaC, além da contribuição para a redução das emissões de carbono. Divulgação para a sociedade dos benefícios e vantagens do hidrogênio;

- Educar/ a sociedade para novos padrões de consumo, alterando o atual estilo de vida;

- Promover e incentivar a diversificação da matriz energética nacional;

- Ampliar o uso e geração do hidrogênio de forma sustentável como vetor energético;

- Desenvolvimento de Programas específicos de diversificação da matriz energética brasileira, fomentando a introdução do hidrogênio e CaC, e que também esteja de acordo com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA);

- Criação de marco regulatório específico para a introdução do hidrogênio na matriz energética;

- Criação de leis regulatórias do mercado de geração e utilização de energia elétrica distribuída no país, possibilitando mercado doméstico de compra e venda de energia elétrica, a partir do hidrogênio e as CaC;

- Novas opções para fornecimento e suprimento descentralizado de energia elétrica promovendo uma maior qualidade e confiabilidade do sistema elétrico nacional;

- Fomentar a integração energética do Brasil com outros países que disponham da tecnologia do hidrogênio;

- Buscar projetos e programas realizados em outros países e estudá-los, traçando estratégias adequadas ao nosso país. Analisar oportunidades para adequação ao ambiente institucional nacional e internacional;

- Desenvolver programas em parcerias com outros países que buscam o desenvolvimento da introdução da economia do hidrogênio como uma opção energética;

- Promover a divulgação e o intercâmbio de informações pertinentes e de profissionais brasileiros;

- Estabelecer condições para que as instituições participantes colaborem ativamente entre si nos diversos aspectos envolvidos nas áreas de pesquisa, desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia;
- Fortalecer as indústrias existentes, criar novas e envolver uma parte maior do setor industrial em parcerias;
- Ajuda do setor privado, com investimentos adequados, e a comunidade de C&T, promovendo a transferência das tecnologias apropriadas;
- Traçar diretrizes para Elaboração da Política Energética no Brasil, usando o hidrogênio como vetor energético;
- Criação de uma política energética baseada no desenvolvimento sustentável que contemple os seguintes aspectos: garantia de suprimento, através da diversificação das fontes, novas tecnologias e descentralização da produção de energia; uso, adaptação e desenvolvimento racional de recursos; custo mínimo da energia; valor agregado a partir dos usos, gerados pela e na otimização dos recursos; custos reais na energia, contemplando impactos ambientais e sociais, devido a represamento, extração, produção, transmissão e distribuição, armazenamento, e uso das energias negociadas no mercado, inclusive definindo métodos específicos de internalização (das externalidades);
- Criação de uma política industrial que permitirá o aporte de recursos de P&D em empresas, incentivando a inovação na indústria do país;
- Criação de uma política voltada para a produção do hidrogênio e CaC para fins energéticos e sua integração com a política industrial;
- Medidas políticas e institucionais para superar os gargalos enfrentados pelas empresas envolvidas no desenvolvimento de sistemas de produção de hidrogênio por meio de reforma de etanol, eletrólise e gaseificação;
- Elaborar estudos da viabilidade do ciclo de vida das estratégias abordadas desde a produção do combustível que irá gerar o hidrogênio até o uso na aplicação desejada. Esses estudos ajudarão a focalizar, para as condições brasileiras, as rotas mais adequadas para atingir um nível sustentável com relação ao meio ambiente e aos ecossistemas brasileiros;
- Desenvolver estudos cujos objetivos devem seguir e estar de acordo com estas mesmas diretrizes estabelecidas pelo CNPE10 - Conselho Nacional de Política Energética e as Diretrizes temáticas dos Fundos Setoriais;
- Envolvimento do MME e MCTI com o Roteiro Beta e com o ProH2;



- Maior comprometimento do Ministério de Minas e Energia com as questões ambientais. Maior atuação do MME para cumprir o proposto, ou seja, que o hidrogênio esteja, até 2025, inserido na matriz energética nacional, sendo utilizado como vetor energético tanto no fornecimento de energia elétrica quanto no mercado de combustíveis, obtido, preferencialmente, a partir de fontes renováveis;

- Ampliação e investimento governamental e privado em programas e políticas públicas;

- Participar mais ativamente das reuniões de organismos internacionais, como o IPHE e a International Energy Agency Hydrogen Task, para conhecer as atividades conduzidas nos vários países membros;

- Abertura, no curto prazo, de linhas específicas de financiamento para empresas de pequeno e médio porte nacionais, direcionadas à aquisição de equipamentos e infraestrutura, por parte da FINEP ou BNDES ou até FAPs;

- Concessão de editais de subvenção econômica para empresas localizadas em todo o território nacional com a indicação de temas relacionados à tecnologia do hidrogênio como área de interesse e/ou abertura de linhas de financiamento do BNDES;

- Propiciar o incentivo de incentivo fiscal quanto ao uso das tecnologias;

- Melhorar a questão tributária e dos juros do setor. Criação de Projeto de redução da burocracia para obtenção de créditos, redução de tributos no sistema produtivo e para homogeneização de tributos e incentivos;

- Criação de Projeto/Programa para padronização dos produtos e nomes de produtos;

- Criar uma rede de fornecedores, utilizar a tecnologia nacional e ainda concorrer com produtos incentivados fabricados no exterior;

- Empresas de base tecnológica e de pequeno porte devem ter tratamento diferenciado, visando a sua consolidação no mercado;

- Seleção de planos de negócio e fomento à projetos que contemplem a PD&I e/ou desenvolvimento tecnológico, produção, comercialização, visando o desenvolvimento de fornecedores brasileiros para a cadeia produtiva do hidrogênio.

## 7. CONCLUSÕES

### 7.1 Considerações Finais

Uma das vantagens em adotar direcionadores para avaliar a competitividade é que não é atribuída apenas a um determinado fator a responsabilidade por tornar competitiva uma cadeia produtiva. Para tanto, o presente trabalho identificou alguns indicadores e agrupou em direcionadores, sendo avaliados por diferentes agentes que atuam dando importância para a competitividade da cadeia. Esta distinção permite a aplicação do método em diferentes cadeias ou segmentos, como a produção do hidrogênio e CaC, por exemplo.

A revisão bibliográfica e as entrevistas com os agentes-chaves da cadeia contribuíram para o levantamento das perspectivas para o Brasil, detalhadas na forma de pontos fortes, fracos, ameaças e oportunidades. Desse modo, a respeito das ações, avanços e perspectivas nacionais sobre a E.H. no país, foi possível verificar que a maioria dos direcionadores de competitividade elencados, na visão dos entrevistados, possuem uma distribuição equilibrada entre direcionadores desfavoráveis, neutros e favoráveis dos segmentos insumos e indústria. O segmento conversão (uso de CaC) apresentou a maioria dos direcionadores favoráveis. Ainda, nos segmentos estudados, os principais determinantes de desempenho competitivo são tecnologia e ambiente institucional. Vale destacar que a regulamentação foi apresentada como um dos indicadores mais importantes a ser de pronto trabalhada para demarcar a criação de um ambiente propício ao desenvolvimento da cadeia produtiva do hidrogênio como vetor energético.

Por fim, como conclusão, o hidrogênio tende a ser, certamente, mais uma grande oportunidade para agregar as potencialidades da indústria de bens e serviços, sobretudo no setor energético, tendo o seu uso como vetor energético no país uma tendência ao crescimento. Contudo, esse cenário de crescimento só acontecerá daqui a algumas décadas. Isso porque o uso do hidrogênio para fins energéticos depende ainda de vários fatores que estão em desenvolvimento e/ou devem ser ainda iniciados, incluindo a sua produção a partir de fontes renováveis e uma infraestrutura que contemple a cadeia como um todo. Além disso, muitas das aplicações exigem plantas industriais de grande volume de produção de hidrogênio, o que é difícil alcançar a partir das fontes renováveis, que normalmente possuem uma distribuição geográfica dispersa no país, apesar da diversidade destas.

Em contrapartida, o uso do hidrogênio para suas aplicações atuais já apresenta, no país, maior viabilidade técnica. Nesse sentido, para que sua produção se torne viável

industrialmente, usando fontes renováveis, deve-se aprimorar o processo para que seja de baixo custo e, preferencialmente, possa ser compactado, para aplicações que exigem menor volume de hidrogênio e distantes do centro consumidor.

Para usufruir dos benefícios da E.H., é necessário um planejamento de ações a fim de que a indústria nacional seja dotada dos atributos necessários para que se torne competitiva mundialmente.

Isto posto, as seguintes considerações finais foram consideradas:

#### *- Tecnologia*

No ambiente tecnológico, o Brasil é o país que mais cresce em tecnologias de hidrogênio e CaC na América Latina, e começou a se posicionar no mercado mundial de energia em várias frentes, sobretudo com o desenvolvimento e produção de fontes alternativas. Porém, ainda é campo para experimentação precoce em função de suas práticas multicompostível, à grande disponibilidade de biomassa de diferentes origens, ao seu grande potencial hidráulico e o uso de energias renováveis. Tudo isso acaba pulverizando os investimentos no setor energético.

No Brasil, a realidade e condições para as mudanças no regime energético diferem do contexto dos países desenvolvidos, em função, principalmente, de algumas prioridades como o volume de investimentos destinado ao desenvolvimento tecnológico do hidrogênio e das CaC, assim como a segurança energética e o meio ambiente. Além disso, o Brasil é um país periférico, coadjuvante, que tende a acompanhar o desenvolvimento tecnológico do hidrogênio e das CaC, observado no ambiente internacional.

Ainda, ao analisar esse ambiente, as tecnologias de produção de hidrogênio existente no Brasil estão basicamente nas indústrias de gases industriais e nas refinarias de petróleo, o que as torna uma tecnologia consolidada comercialmente a partir de fontes não renováveis como o gás natural e fins industriais. Já a produção a partir das fontes renováveis ainda se encontra em estágio de pesquisa e desenvolvimento, o que se espera que esteja consolidada comercialmente num intervalo igual ou superior a 20 anos.

As células a combustível são apontadas como os dispositivos mais apropriados para a utilização do hidrogênio como vetor energético, representando uma das perspectivas futuras promissoras de uso do hidrogênio, pois a tecnologia já é comerciável e está se estabelecendo, além de já estar assegurada em alguns nichos de mercado. Os prováveis mercados para o uso de CaC são os mercados de cogeração de pequena escala, como no setor residencial e

comercial, competindo com outras tecnologias. A alta eficiência das CaC é indispensável para E.H., especialmente quando o hidrogênio provém de fontes renováveis.

As pesquisas e desenvolvimento em CaC no Brasil têm enfrentado sérias dificuldades e não existem no país células competitivas para aplicar em automóveis, por exemplo. Porém, para o Brasil, o mais interessante tem sido esperar as grandes montadoras do exterior desenvolverem essa tecnologia, já que essas investem bilhões e possuem infraestrutura para o seu desenvolvimento.

Quanto às barreiras que devem ser superadas, as CaC requerem ainda bastante atividade de PD&I para atingirem maiores patamares de viabilidade comercial, ou seja, sua expansão comercial. Atualmente, a expansão comercial das células a combustível no Brasil se deve, principalmente, a importação destes sistemas por universidades, empresas públicas e privadas, governo e institutos de pesquisas.

Essas barreiras envolvendo ações, medidas e tecnologias associadas para o aumento de competitividade do setor, apontam para a necessidade de um amplo investimento em PD&I visto que as atuais tecnologias para o uso energético do hidrogênio ainda não lhe conferem competitividade frente aos energéticos concorrentes. É necessário, ainda, a incorporação de tecnologias-chave no setor de energia para dominar ou incorporar, criando sólidas bases tecnológicas.

#### *- Insumos e Infraestrutura*

Apesar da ampla disponibilidade e diversificação de insumos capazes de produzir hidrogênio no Brasil, em todos os processos de produção, existe uma necessidade para a melhoria significativa nos custos de capital reduzidos, na eficiência da planta e para uma melhor confiança e flexibilidade operacional.

Quanto à origem do hidrogênio a partir de insumos renováveis, há vários grupos de pesquisa trabalhando no desenvolvimento da produção de hidrogênio através do etanol, sendo a maioria na busca de catalisadores eficientes e baratos. Foi estabelecido na versão preliminar do Roteiro brasileiro, como sendo em 2020 o uso comercial do hidrogênio obtido a partir da reforma do etanol. Além disso, uma razoável atividade em P&D no Brasil na conversão de várias outras fontes primárias como o carvão, gás natural, biomassa, energia solar é esperada. Existem também grandes potenciais de aproveitamento de biomassa residual.

O Roteiro Brasileiro para a Economia do Hidrogênio estabelece como alto grau de prioridade o desenvolvimento da DEFC (*Direct Ethanol Fuel Cell*), que é uma recente

tecnologia de CaC, que utiliza etanol diretamente, sem a necessidade de reforma. A DEFC é uma subcategoria da CaC do tipo PEM, onde o catalisador a ser utilizado não contém metais demasiadamente caros, como, por exemplo, a platina, mas compostos de ferro, níquel, cobalto, o que deverá reduzir bastante seus custos de produção.

Além da introdução das fontes renováveis para produzir o hidrogênio, aumento na eficiência e redução de custos, dentre os obstáculos nacionais, que também foram amplamente discutido no panorama internacional, estão a necessidade de disponibilizar infraestrutura para produção, transporte, armazenagem e distribuição do hidrogênio, requerendo o envolvimento das esferas pública e privada. O armazenamento é apontado como um dos principais desafios para que o hidrogênio produzido seja utilizado comercialmente para fins energéticos, avançando para a E.H.. Não existe no Brasil uma infraestrutura instalada para suprimento deste combustível, o que aponta que, no momento, não é perceptível, do ponto de vista comercial, a presença de agentes responsáveis pelas atividades de produção, armazenagem, transporte, distribuição e consumo do hidrogênio energético.

Para viabilizar a infraestrutura do combustível e para sua utilização estacionária (como plantas de geração de eletricidade e calor), a disponibilidade do armazenamento do hidrogênio se faz necessário, visto que em transportes e aplicações portáteis o desafio está nas temperaturas e pressões requeridas, o que demanda muita energia, instalações especiais e, conseqüentemente, custos elevados. No Brasil, as opções de armazenamento do hidrogênio em veículos ainda não atingiram os requisitos técnicos e econômicos para sua competitividade.

Para a implantação da E.H., foi sugerido que, no início, sua produção será descentralizada e, conforme for aumentando a demanda por hidrogênio, a produção poderá ser centralizada. A produção descentralizada baseia-se atualmente em reformadores de gás natural de pequena escala e na eletrólise da água. A produção descentralizada foi apontada como inicial por reduzir os custos da infraestrutura de transporte, pois está próxima dos centros consumidores. Porém, seus custos geralmente são maiores em função da capacidade instalada e eficiências mais baixas. Portanto, exigem-se maiores atividades de PD&I, necessárias para reduzir os custos e aumentar a eficiência dos sistemas descentralizados de produção de hidrogênio.

Além dos baixos investimentos em PD&I, altos custos e ausência de infraestrutura instalada, as dificuldades burocráticas impedem uma utilização eficiente dos recursos exigidos para a produção de hidrogênio. Além disso, não existe cadeia de suprimento do hidrogênio energético.

É necessário priorizar a elaboração de regulamentação e certificação a fim de que seja criado um ambiente propício à comercialização de produtos e serviços da cadeia de suprimento do hidrogênio, além da estruturação de uma cadeia de produção de hidrogênio para fins energéticos. Além disso, faz-se necessária a existência de um Marco Regulatório para disciplinar o exercício das atividades que serão objeto de regulamentação no modelo de produção, logística, comercialização e uso energético do hidrogênio.

O planejamento e a participação da indústria nacional de bens e serviços farão com que a cadeia produtiva tenha atributos necessários para torná-la competitiva em nível mundial. Além disso, o desenvolvimento deste novo mercado dar-se-á mediante a participação gradual da indústria nacional de bens e serviços nos diferentes elos da cadeia da E.H., a saber: produção dos insumos, conversão, transporte, armazenamento, distribuição e utilização do energético.

Assim, é preciso avançar na criação e definição de regulamentos, qualificação, certificação e normatização, além de outras questões que estão em desenvolvimento no mundo todo, para a redução das emissões. Faz-se importante, também, o conhecimento da sociedade sobre as características, vantagens ambientais e diversidade de aplicações do hidrogênio como vetor energético.

#### *- Estrutura de Mercado e Governança*

O aumento da produtividade e da quantidade de um determinado produto (escala de produção) continua sendo o melhor caminho para se reduzir custos e, conseqüentemente, aumentar as margens. Isso ocorre devido à diluição de vários custos considerados fixos, devido à otimização no uso de determinados fatores de produção como mão de obra, insumos, etc. Na cadeia produtiva do hidrogênio, um dos gargalos apontados é a pequena escala das tecnologias de produção, além do alto nível de concentração e poder de mercado.

Para que se possa desenvolver o mercado de hidrogênio em ritmo que confira ao Brasil competitividade para aproveitar as oportunidades decorrentes da implantação da nova economia, uma das barreiras que devem ser removidas é a busca por parcerias estratégicas,

com países detentores de sólidas bases tecnológica e industrial, para a produção do hidrogênio.

Quanto às oportunidades para o desenvolvimento industrial advirão das demandas correlacionadas à integração de sistemas de conversão, sistemas híbridos e interligação com a rede elétrica.

Um dos nichos de mercado mais promissores para a aplicação das tecnologias de produção de hidrogênio e CaC no Brasil seria o de geração distribuída de energia elétrica com potência entre 5 a 200 KW, o que iria ao encontro da política nacional de universalização dos serviços de energia elétrica e de telecomunicações. Já as utilizações veiculares, figuram como prioritárias as aplicações de veículos pesados para transporte urbano coletivo e de carga, sendo a geração distribuída e o atendimento de comunidades isoladas nichos de mercado a serem trabalhados, prioritariamente.

#### *- Ambiente Institucional*

A participação do Brasil – único do continente sul-americano, membro desde novembro de 2003 - na IPHE foi um poderoso instrumento político, pois suas reuniões promoviam trocas de informações com agentes que discutiam os aspectos políticos, sociais e econômicos pertinentes ao tema. Porém, após a saída de George W. Bush da presidência dos EUA os investimentos na E.H. foram perdendo força, além do interesse nas reuniões da IPHE. Após esse período, o setor de pesquisas e desenvolvimento de produção de hidrogênio e CaC sofreu uma estagnada no mundo todo. Outro fator levado em consideração foi a saída de Dilma Rousseff do MME.

No início do Programa Brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio - ProH2 – os recursos foram disponibilizados para pesquisa, capacitação de laboratórios e de infraestrutura. Redes foram criadas e estão em funcionamento, envolvendo instituições de diversas regiões do país. Os focos estratégicos do ProH2 está na produção de hidrogênio (preferencialmente utilizando o etanol, eletrólise de água, outras fontes renováveis e gás natural) e nas células a combustível (preferencialmente uso estacionário, com potência até 50 kW, utilizando hidrogênio ou etanol direto). Contudo, seus avanços são dependentes de maiores investimentos por parte do governo.

Já o Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio, elaborado no Brasil, possui um horizonte e metas até 2025 e uma de suas principais prioridades do Roteiro Beta foi o uso do etanol e da biomassa para produção de hidrogênio. As metas propostas nesse Roteiro

não foram totalmente cumpridas, atrasando os marcos temporais de desenvolvimento da tecnologia.

Muitos são os obstáculos nacionais, além da dificuldade em fazer a transferência dos projetos científicos para a bancada pré-comercial. O Brasil possui necessidade de políticas públicas, devendo intensificar a estruturação de programas tecnológicos e multidisciplinares. Além disso, é necessário planejar a participação da indústria nacional de bens & serviços, dotando-a dos atributos necessários para torná-la competitiva em nível mundial. Por fim, são necessárias linhas de financiamento, o que facilitaria a alavancagem na comercialização.

Em suma, a produção de hidrogênio como vetor energético contribui para as questões ambientais sobre mudanças climáticas e geração de resíduos. A eletricidade produzida a partir do hidrogênio é um grande aliado para manutenção do alto percentual de renováveis na matriz energética e elétrica. Porém, o Brasil deverá buscar liderança mundial nas tecnologias de produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis, apesar da liderança não ser em toda a gama de tecnologias da cadeia do hidrogênio. Isso porque, o tempo de maturação e o capital necessário seriam muito elevados, o que implica em perdas de oportunidade para a indústria de bens e serviços do país na área energética, tanto interna como externamente. Já a implantação da E.H. no Brasil demanda, necessariamente, da estruturação de uma base tecnológica planejada que sintonize com os perfis da demanda, da diversidade e da disponibilidade das fontes energéticas.

Com relação ao desenvolvimento futuro das tecnologias relacionadas com o hidrogênio, há necessidade de maior desenvolvimento da pesquisa aplicada e das etapas seguintes, de demonstração e comercialização de bens ligados ao hidrogênio energético. A produção de eletricidade a partir do hidrogênio exige investimentos de P&DI em toda a cadeia produtiva: pela diversidade de matérias primas, de processos de conversão e de produção de energia. Os maiores desafios estão nas áreas de materiais (inclusive a infraestrutura armazenagem), e sistemas de transporte e distribuição. São esperados desenvolvimentos de materiais mais eficientes, com menores perdas, assim como substanciais melhorias na eficiência dos usos finais (indústrias, comércio, serviços e residencial).

O uso energético do hidrogênio possui vantagens ambientais, tecnológicas e prognóstico de boas perspectivas econômicas. Exige o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais como a geração distribuída de energia elétrica como hidretos metálicos para o armazenamento seguro do hidrogênio, transporte coletivo urbano em ônibus hídrico elétrico com pilha à combustível, além da pilha à combustível de óxido sólido alimentada de etanol.



Portanto, os obstáculos e desafios apontados nesse trabalho - defasagem tecnológica, ausência de infraestrutura para distribuição de hidrogênio, falta de recursos humanos qualificados, inexistência de normas de segurança específicas, inexistência de capacidade industrial para produção de equipamentos e ausência de empresas de serviços - quanto à introdução da chamada E.H. não configuram dificuldades intransponíveis. Pelo contrário, apontam uma gama de oportunidades para o surgimento no país de novas empresas de bens e serviços, como foi demonstrado pelas tecnologias emergente do setor.

Por fim, nos últimos anos, apesar da produção de eletricidade ainda estão muito focada nas hidrelétricas, o Brasil tomou importantes medidas quanto a produção de hidrogênio e CaC, mas ainda são necessárias políticas e uma agenda de trabalho com prioridades, metas e ações como foi iniciado, no caso do Roteiro Nacional para a economia do hidrogênio, porém a maior parte das ações e/ou cronogramas planejados não foram cumpridos até o presente momento. Na visão de muitos, o hidrogênio entrará paulatinamente no setor energético, o que demandará algumas décadas para que isso ocorra.

Portanto, em relação aos investimentos e empenho à programas e políticas para a E.H., ainda existem problemas de ordem institucional e econômico para que o Brasil dependa menos de fontes fósseis de energia e invista mais na E.H.. As barreiras para alterar o regime energético brasileiro assim como sua matriz energética ainda não foram ultrapassadas nem tão pouco no setor tecnológico. Tanto o hidrogênio quanto as CaC são potenciais substitutos para os combustíveis fósseis. Contudo, os benefícios trazidos em função da alteração do regime energético não compreenderão dos custos e/ou preços, pois tanto o hidrogênio quanto a CaC terão competitividade, em relação ao regime energético vigente, no momento em que alcançarem a economia de escala.

## **7.2 Sugestões e limitações da Pesquisa**

Inicialmente, as dificuldades giraram em torno da ausência de uma cadeia produtiva do hidrogênio como vetor energético, o que exigiu uma ampla revisão de estudos acadêmicos para montar uma possível cadeia.

Outro fator limitante foi o efeito temporal, visto que a pesquisa de campo aconteceu no período de dezembro de 2014 a abril de 2015, período esse que muitos agentes estavam em recesso, além de ser um período mais “corrido” nas indústrias, em função de algumas datas

festivas. Uma recomendação é para que as pesquisas de campo sejam realizadas fora do período de férias para evitar problemas como esses.

Quanto à teoria escolhida para estudo, as dificuldades estão no fato que as discussões acadêmicas sobre a análise de direcionadores no setor energético - tema escolhido nessa dissertação – são recentes, o que muitas vezes inviabiliza a busca bibliográfica, tendo visto mais aplicações em cadeias produtivas agroalimentares. Em cadeias produtivas de energéticos, o estudo ainda é inovador.

Dessa forma, uma sugestão que pode contribuir significativamente para a avaliação dos determinantes da competitividade do setor energético no Brasil é a aplicação deste método em outros energéticos, com uma cadeia produtiva em formação e/ou formada. Com isso, poderia se chegar a discussões mais abrangentes de como a estrutura de uma cadeia impacta o desempenho do setor, e, em contrapartida, garantiria vantagem competitiva.

Outra sugestão consiste na elaboração do histórico do setor no mercado internacional, verificando se os setores energéticos internacionais possuem outros programas e/ou políticas realizados para a E.H. e estudá-los. Além disso, seria interessante também fazer uma análise competitiva, dentro da cadeia, dos processos mais usados (e seus insumos) para a produção de hidrogênio energético. Outra sugestão seria analisar, através do modelo de direcionadores, as questões logísticas, principalmente de armazenamento e transporte, visto que esse segmento (elo) não pode ser analisado.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASBERG-PETERSEN, K.; C. S. NIELSEN E S. L. JÜRGENSEN. Membrane reforming for hydrogen. **Catalysis Today**, v. 46, p. 193-201, 1998.

\_\_\_\_\_.; T. S. CHRISTENSEN; C. S. NIELSEN E I. DYBKJAER. Recent developments in autothermal reforming and pre-reforming for synthesis gas production in GTL applications. **Fuel Processing Technology**, v. 83, p. 253-261, 2003.

ABO-HASHESH, M.; NICOLAS DESAUNAY.; PATRICK C. HALLENBECK. High yield single stage conversion of glucose to hydrogen by photofermentation with continuous cultures of *Rhodobacter capsulatus* JP91. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 513-517, 2013.

ABOUL-GHEIT, A. K; MOHAMED S. EL-MASRY, AHMED E. AWADALLAH. Oxygen free conversion of natural gas to useful hydrocarbons and hydrogen over monometallic Mo and bimetallic Mo-Fe, Mo-Co or Mo-Ni/HZSM-5 catalysts prepared by mechanical mixing. **Fuel Processing Technology**, v. 102, p. 24-29, 2012.

AGÊNCIA BRASIL, 2014. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-04/brasil-sobe-uma-posicao-no-ranking-de-maior-custo-de-energia-para-industria>>. Acesso em: Set, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) – ANEEL. Energia Hidráulica. 2009. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap3.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf)>. Acesso em: Nov, 2014.

ANDRÉ, M. E. D. A. **Estudo de Caso em Pesquisa e avaliação educacional**. Brasília: Liberlivros Editora, p. 7-70.2005.

ANTONOPOULOU G., GAVALA H. N., SKIADAS I. V., Angelopoulos K, LYBERATOS G. Biofuels generation from sweet sorghum: fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass. **Bioresource Technology**, p. 99-110, 2008.

ARAÚJO, S. C. S.. **Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Ministério de Minas e Energia. 2008. Disponível em: <[http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/WICaC2008/PDF/Symone\\_Araujo.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/WICaC2008/PDF/Symone_Araujo.pdf)>. Acesso em: Set, 2013.

AREAM - AGÊNCIA REGIONAL DA ENERGIA E AMBIENTE DA REGIÃO AUTÔNOMA DA MADEIRA. A economia do Hidrogênio. 2006. Disponível em: [http://www.aream.pt/download/brochuras/Brochura\\_hidrogenio.pdf](http://www.aream.pt/download/brochuras/Brochura_hidrogenio.pdf). Acesso em: Ago, 2013

ARMOR, J. N. Membrane catalysis: Where is it now, What needs to be done?. **Catalysis Today**, v. 25, n. 3, p. 199-207, 1995.

\_\_\_\_\_. The multiple roles for catalysis in the production of H<sub>2</sub>. **Applied Catalysis A: General**, v. 176, n. 2, p. 159-176, 1999.

AZEVEDO, M. **Gases Industriais: Air Liquide inaugura unidade de hidrogênio.** 2002. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/pquimica/25128/gases-industriais-air-liquide-inaugura-unidade-de-hidrogenio/>>. Acesso em: Ago, 2014.

AZWAR, M.Y.; HUSSAIN, M.A.; ABDUL-WAHAB, A.K. Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: **A review Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p.158-173, 2014.

BACCHI, M. R. P. A indústria canavieira do Brasil em clima otimista. **Revista Futuros Agronegócios**, São Paulo, p. 22-25, jul. 2006. Disponível em: <[http://cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea\\_Sucroalc\\_revFuturos\\_site.pdf](http://cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_Sucroalc_revFuturos_site.pdf)>. Acesso em: Mar, 2015.

BALL M., WIETSCHEL, M.; The future of hydrogen—opportunities and challenges. **International Journal of Hydrogen Energy**. v. 34, p. 615–627, 2009.

BARANDAS, A. P. M. G. **Produção de hidrogênio a partir do acetol em catalisadores de níquel suportados.** 2009. 212p. Tese (Doutorado). Departamento de Química Orgânica, Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro, 2009.

BATALHA, M.O. (Org). **Gestão Agroindustrial.** São Paulo: Atlas, 800 p.,1997.

\_\_\_\_\_.; SILVA, A. L. **Gestão de Cadeias Produtivas: Novos Aportes Teóricos e Empíricos.** In: (Des)equilíbrio econômico & agronegócio; GOMES, M. F. M. e COSTA, F. A. Viçosa: UFV, DER, 249 p., 1999.

\_\_\_\_\_.; SILVA, A. L. Gerenciamento de complexos agroindustriais: definições e correntes metodológicas. In: BATALHA, M. O. (Coord). **Gestão Agroindustrial.** GEPAI. Ed. Atlas. v... São Paulo:2001, 2ªed, 800 p., 2001.

\_\_\_\_\_. MARCHESINI, M. M. P.; COSTA, M. A. B.; BERGAMASCHI, M. C. M.; RINALDI, R. N.; MOURA, T. L. **Recursos humanos e agronegócio: a evolução do perfil profissional.** São Carlos: GEPAI; Brasília: CNPQ, Editora Novos Talentos, v. 1, 320p., 2005.

\_\_\_\_\_.; SILVA, A. L. Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições, especificidades e correntes metodológicas. In: BATALHA, M. O. (Org). **Gestão agroindustrial.** São Paulo: Atlas, v.3. p. 1-64, 2007.

\_\_\_\_\_.; SOUZA FILHO, H. M. Analisando a Competitividade de Cadeias Agroindustriais: uma Proposição Metodológica. In: BATALHA, M. O.; SOUZA FILHO, H. M. (Orgs.). **Agronegócio no MERCOSUL: uma agenda para o desenvolvimento.** São Paulo: Atlas, p 1-22, 2009.

BAYKARA, S.Z. Experimental solar water thermolysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 29, n.14, p. 1459-1469, 2004.

\_\_\_\_\_.; BILGEN, E.. Solar hydrogen production by hybrid process of water thermolysis and electrolysis. **Solar & Wind Technology**, v. 6, n. 3, p. 183-188, 1989.

\_\_\_\_\_. An overall assessment of hydrogen production by solar water thermolysis. **International Journal of Hydrogen Energy**. v. 14, n.12, 1989, p. 881-891.

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Relatório Síntese - ano base 2013. Ministério de Minas Energia – Empresa de Planejamento Energético. Brasília: MME/EPE, 2014. Disponível M <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese2014.aspx>> Acesso em: Jul, 2014.

BENITEZ, R. M. A Infraestrutura, sua relação com a produtividade total dos fatores e seu reflexo sobre o produto regional. 1999. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/pub/ppp/ppp19/Parte\\_6.pdf](http://www.ipea.gov.br/pub/ppp/ppp19/Parte_6.pdf)>. Acesso em: Jul, 2014.

BEZERRA FILHO, J. G. **Células a combustível a hidrogênio**: estudo de caso comparativo com um motor a combustão. Trabalho de final de curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Mecatrônica Industrial, 70p. 2008.

BICELLI, L. P. Hydrogen: a clean energy source. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 11, n. 9, pp. 555-562, 1986.

BOTTON, J. P. **Líquidos iônicos como Eletrólitos para Reações Eletroquímicas**. 2007, 174 p. Tese (Doutorado). Departamento de Ciências dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2007.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Diário Oficial da União, de 07 de julho 1997, p. 16.925. Disponível em: <<http://www6.senado.gov.br/sicon/ExecutaPesquisaLegislacao.action>>. Acesso em: Ago, 2013.

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO - MDIC. Secretaria do Desenvolvimento da Produção. Fórum de Competitividade: Diálogo para o desenvolvimento (documento básico). Brasília, D.F.: MDIC, 17p., 2002.

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. Protocolo de Quioto, 1999 – traduzido pelo MCT com o apoio de Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0012/12425.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0012/12425.pdf)> Acesso em: Ago, 2013.

\_\_\_\_\_. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2002. 153p.. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)> Acesso: Fev, 2014.

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Roteiro para Estruturação da economia do hidrogênio no Brasil, MME: Brasília, 2005. Disponível em: <<file:///I:/Roteiro%20Brasileiro.pdf>> Acesso em: Jul, 2013.

BONTURIM, E.; VARGAS, R.A; ANDREOL, M.I; SEO, E. S. M.. Sustentabilidade: A tecnologia do Hidrogênio na geração de energia elétrica. 2011. **Interfacehs** - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. Volume 6, nº 3, p. 16-25, 2011. Disponível em: <

[http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/08/3\\_DOSSIE\\_vol6n3.pdf](http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/08/3_DOSSIE_vol6n3.pdf)>. Acesso em: Jul, 2014.

BRUDNIK, A.; GORZKOWSKA-SOBAŚ, A.; PAMUŁA, E.; RADECKA, M.; ZAKRZEWSKA, K. Thin film TiO<sub>2</sub> photoanodes for water photolysis prepared by dc magnetron sputtering. **Journal of Power Sources**, v. 173, n. 2, p. 774-780, 2007.

CALABI, A.; FONSECA, E. G. DA. S. A energia e a economia brasileira: interações econômicas e institucionais no desenvolvimento do setor energético no Brasil. São Paulo: Pioneira, p.250, 1983.

CAMARGO, J. C. **O Etanol como Fonte de Hidrogênio para Células a Combustível na Geração Distribuída de Energia Elétrica**. Tese de doutorado. Planejamento de Sistemas Energéticos. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas/SP. 2004.145p.

CAMPEN, A.; MONDAL, K. ; WILTOWSKI, T. Separation of hydrogen from syngas using a regenerative system. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, p. 322-29, 2008.

CARNEIRO, C. M. B. **Estratégias Competitivas de Marketing**: Quanto o mercado está em guerra. Disponível em: <<http://www.uff.br/ensaiosdemarketing/artigos%20pdf/1/artigodez.pdf>> Acesso em: Mai, 2015.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. Alternativas Energéticas: uma visão Cemig. Belo Horizonte: Cemig, 2012. P. 369.

CENEH – Centro de Referência de Energia em Hidrogênio, 2004. Disponível em: <[www.ifi.unicamp.br/ceneh/](http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/)>. Acesso em: Nov, 2013.

CÉSAR, A. S. **Análise dos direcionadores de competitividade da cadeia produtiva de biodiesel**: o caso da Mamona. 26/02/2009. 171 p. Dissertação (Mestrado) –Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

\_\_\_\_\_ **Competitividade da produção de biodiesel no Brasil**: uma análise comparativa de mamona, dendê e soja. São Carlos, 2012. 260 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Hidrogênio energético no Brasil. Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025. Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários – Brasília: 2010. Disponível em <<http://www.cgee.org.br/publicacoes/hidrogenio.php>> Acesso em: Jun, 2013.

CHEFURKA, P. World Energy and Population. Trends to 2100. 2007. Disponível em: <<http://www.paulchefurka.ca/WEAP/WEAP.html>>. Acesso em: Jan, 2015.

CHEN, Y.; WANG, Y.; XU, H.; XIONG, G. Efficient production of hydrogen from natural gas steam reforming in palladium membrane reactor. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 81, p. 283-294, 2008.

CHEN, Z.; GRACE, J. R.; LIM, C. J.; LI, A. Experimental studies of pure hydrogen production in a commercialized fluidized-bed membrane reactor with SRM and ATR catalysts. **International Journal of Hydrogen Energy**, 32, p. 2359-2366, 2007. Disponível em: ><http://www.membranereactor.com/images/paper.pdf>>. Acesso em: Maio de 2013.

CHERRY, R. S. A hydrogen utopia? **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 29, n. 2, p. 125-129, 2004.

CHUM, H. Programa Brasileiro de Células a Combustível. Proposta para o Programa coordenada pelo: CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. Ciência, Tecnologia e Inovação. CTenerg. Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia. Disponível em: <<http://finep.gov.br/images/a-finep/fontes-de-orcamento/fundos-setoriais/ct-energ/programa-brasileiro-de-celulas-a-combustivel.pdf>>. Acesso em: Dez, 2013.

CONEJERO, M. A.. **Planejamento e gestão estratégica de associações de interesse privado do agronegócio**: uma contribuição empírica. 2011. 325p. Tese (Doutorado) – Departamento de Administração, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. Matriz energética: cenários, oportunidades e desafios. Brasília: CNI, 2007. 82 p. Disponível em: <[http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_24/2012/09/06/306/20121130193425844634e.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/06/306/20121130193425844634e.pdf)> Acesso em: Set, 2014.

CONTRERAS, J. L.; SALMONES, J.; COLÍN-LUNA, J. A.; NUÑO, L.; QUINTANA, B.; CÓRDOVA, I.; ZEIFERT, B.; TAPIA, C.; Fuentes, G. A. Catalysts for H<sub>2</sub> production using the ethanol steam reforming (a review). **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 33, p. 18835-18853, 2014.

COSTAMILAN, L. C.. Gás Natural: Evolução e Perspectivas. Interesse Nacional. Ano 2, Nº4, 2009. Disponível em: <<http://interessenacional.uol.com.br/index.php/edicoes-revista/gas-natural-evolucao-e-perspectivas/>> Acesso em: Out, 2014.

COUTINHO, C. P.; CHAVES, J. H. O estudo de caso na investigação em tecnologia educative em Portugal. 2002. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/492/1/ClaraCoutinho.pdf>>. Acesso em: Jan, 2014.

CPFL - COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. Visão Geral do Setor de Energia Elétrica, 2014. Disponível em: <http://www.cpflrenovaveis.com.br/show.aspx?idCanal=vmlx/YBjsPrd0O9TTFW81Q==> Acesso em: Mar, 2015.

CRABTREE, G.W. Dresselhaus, M. S. The hydrogen fuel alternative. *MRS Bulletin*, v. 33, p. 421, 2008.

CRESWELL, J. W. Combined qualitative and quantitative designs. In: CRESWELL, J. W. *Research design: qualitative and quantitative approaches*. London: Sabe Publications, p.173-192, 1997.

CRUZ, F. E. Produção de hidrogênio em refinarias de petróleo: Avaliação energética e custo de produção. 164 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

DANTE, R. C.; GÜERECA, L. P.; NERI, L.; ESCAMILLA, J. L.; AQUINO, L.; CELIS, J.. Life cycle analysis of hydrogen fuel: a methodology for a strategic approach of decision making. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 27, n. 2, p. 131-133, 2002.

DASGUPTA, C. N.; J. JOSE GILBERT, PETER LINDBLAD, THORSTEN HEIDORN, STIG A. BORGVANG, KARI SKJANES, DEBABRATA DAS. Recent trends on the development of photobiological processes and photobioreactors for the improvement of hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, n.19, p.10218-10238, 2010.

DOE - U.S. *Department of Energy, Hydrogen Information Network*. 2002. Disponível em <<http://www.eren.doe.gov/hydrogen/faqs.html#cost>>. Acesso em: Out, 2013.

DONITZ, W. Economics and potential application of electrolytic hydrogen in the next decades. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 9, n. 10, p. 817-821, 1984.

DORNELAS, J. C. A. **Empreendedorismo**: transformando ideias em negócios. 6ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 284 p., 2001.

DUNN, S. Hydrogen futures: toward a sustainable energy system. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 27, n. 3, p. 235-264, 2002.

DUTRA, I.S.; ZACCARELLI, S.B. e SANTOS, S.A. dos. As redes empresariais de negócios e o seu poder competitivo: racionalidade lógica ou estratégica? **Revista de Negócios da FURB**, Blumenau, v.13, n.1, p.11–27, 2008.

DYBKJAER, I. Tubular reforming and autothermal reforming of natural gas – an overview of available processes. **Fuel Processing Technology**, v. 42, p. 85-107, 1995.

EIA - ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *International Energy Outlook*, 2013. Report Number: DOE/EIA-0484(2013). Release Date: July 25, 2013. Disponível em: <[http://www.eia.gov/forecasts/ieo/more\\_highlights.cfm](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/more_highlights.cfm)> Acesso em: Ago, 2014.

EROGLU, E.; MELIS A.. Photobiological hydrogen production: Recent advances and state of the art. **Bioresource Technology**, v.102, n. 18, p.8403-8413, 2011.

ESPÍNOLA, M. O. G., **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da energia vertida turbinável da Usina Hidrelétrica de Itaipu para a síntese de amônia**, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 129 p. Dissertação (Mestrado).

EUROPEAN COMMISSION EUR 20719 EN – Hydrogen Energy and Fuel Cells – A vision of our future. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, p.36, 2003. Disponível em <[http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/hydrogen-report\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/hydrogen-report_en.pdf)> Acesso em: Mar, 2014.



EUROPEAN COMMISSION, Energy Roadmap 2050, Luxemburgo, 2012. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2050-energy-strategy>> Acesso em: Mar, 2014.

EWAN, B. C. R., ALLEN, R. W. K., A figure of merit assessment of the routes to hydroge, **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 30, n.8, p.809-819, 2005

FARINA, E. M.M.Q. Competitividade e coordenação de sistemas agroindustriais: um ensaio conceitual. **Revista Gestão & Produção**. v. 6, n. 3, p. 147-161, 1999.

FERNANDEZ J.C., PEREIRA, R. O Custo Social da Energia Hidrelétrica e uma Política de Tarifação Social Ótima para o Setor Elétrico. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 39, 4., 466 - 482, 2008. Disponível em: <[http://www.bnb.gov.br/projwebren/exec/artigoRenPDF.aspx?cd\\_artigo\\_ren=1108](http://www.bnb.gov.br/projwebren/exec/artigoRenPDF.aspx?cd_artigo_ren=1108)> Acesso em: Out, 2014..

FERREIRA, G.A. **O processo de constituição da cadeia do biodiesel no estado de Mato Grosso**. 2001. 127 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

FERRAZ, J. C. KUPPER, D., HAGUENAUER, L. Made in Brazil. Rio de Janeiro: Campus, 1996. 386p.

FIGUEIREDO, J. C.; SPROESSER, R. L.; LIMA-FILHO, D. O.; CSILLAG, J. M. Os distintos atributos de qualidade em uma cadeia global de produção agroalimentar. **Desafio: Revista de Economia e Administração (continua como Desafio Online)**, v. 10, n. 20, p. 57-72, 2009.

FROMENT G.F.. Production of synthesis gas by steam- and CO<sub>2</sub>-reforming of natural gás. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**. 163 , p. 147–156, 2000.

FORGE, F.. Biofuels – An Energy, Environmental or Agricultural Policy?. Ottawa: **Library of Parliament**, Parliamentary Information and Research Service. 2007. Disponível em <<http://www.parl.gc.ca/Content/LOP/researchpublications/prb0637-e.pdf>> Acesso em: Set, 2014.

FORSBERG, C. W. Hydrogen markets: implications for hydrogen production technologies. Proceedings of American Institute of Chemical Engineers Spring Meeting, Atlanta, Georgia. 2005. Disponível em: <http://www.intpowertechcorp.com/122902.pdf> Acesso em: Nov, 2013.

FOSTER, M. das G. S.; ARAÚJO, S. C. de S.; SILVA, M. J. Estruturação da economia do hidrogênio no Brasil. In:Seminários temáticos para a 3º conferência nacional de C, T, & I. Parcerias estratégicas. 2005.

GADALLA A. M. E B. BOWER. The role of catalyst suporte on the activity of nickel for reforming methane with CO<sub>2</sub>. **Chemical Engineering Science**, v. 43, p. 3049-3062, 1988.

GARCIA, J. L. A. Produção de Hidrogênio Eletrolítico Utilizando Energia Secundária e seu uso como Vetor Energético. In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia, XV, 1999, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 1999.

GÁS NET. O gás. 2010. Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br>>. Acesso em: Mai, 2014.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4a. ed. 175p. São Paulo: Atlas S/A. 2002. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/mauriciofacanha/ensino-superior/redacao-cientifica/livros/gil-a.-c.-como-elaborar-projetos-de-pesquisa.-sao-paulo-atlas-2002>. Acesso: Set, 2013.

GIRGINER, B.; GIANCARLO G., EMO C., NIYAZI B. Preparation of stable CdS nanoparticles in aqueous medium and their hydrogen generation efficiencies in photolysis of water. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 3, 2009, p. 1176-1184.

GODOY, G. A. R. **Aproveitamento da Energia Vertida Turbinável da UHE Itaipu para uso em ônibus a hidrogênio**: estudo de caso em Foz do Iguaçu. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade de Campinas, 123p, 2008.

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. Estudos Avançados, São Paulo: IEA-USP, v. 12, n.33, p. 7- 15, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141998000200002>>. Acesso em: Set, 2013.

\_\_\_\_\_.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

\_\_\_\_\_.; LUCON, O. \_\_\_\_\_. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. Editora da Universidade de São Paulo, 400 p. 2008.

\_\_\_\_\_.; VILLANUEVA, L. D. Energia, meio ambiente & desenvolvimento. São Paulo: Edusp, 2003

GOMES NETO, E. H. Hidrogênio, evoluir sem poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. Curitiba: Brasil H2 Fuel Cell Energy. 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFSVAJ/hidrogenio-evoluir-sem-poluir>> Acesso em: Out, 2013.

GOSMANN, H. L. O Roteiro Brasileiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Brasília, 2006. Disponível em: <[http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/WICaC2006/PDF/02\\_HugoGosmann.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/WICaC2006/PDF/02_HugoGosmann.pdf)>. Acesso em: Dez., 2013.

GUO, W.; WU, Y.; DONG, L.; CHEN, C.; WANG, F. Simulation of non-catalytic partial oxidation and scale-up of natural gas reformer. **Fuel Processing Technology**, v. 98, p. 45-50, 2012.

HAGUENAUER, L. Competitividade: conceitos e medidas. Rio de Janeiro: IEI/UFRJ, 1989 (Texto para discussão, n. 211).

HARYANTO, A.; FERNANDO, S.; MURALI, N.; ADHIKARI, S.. Current status of hydrogen production techniques by steam reforming of ethanol: A Review. **Energy & Fuels**, v. 19, n.5, p. 2098-2106, 2005.

HEFNER III, R. A. Toward sustainable economic growth: the age of energy gases. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 20, n. 12, p. 945-948, 1995.

HOFFMANN, E. G. N. **Hidrogênio Evoluir sem Poluir**: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. – Curitiba: BRASIL H2 FUEL CELL ENERGY, 240 p., 2005.

HOLDREN, J. P.; SMITH, K R. Energy, the environment and health. In: World energy assessment: energy and the challenge of sustainability. UNDP, 2000. Disponível em <<http://www.undp.org/content/dam/aplaws/publication/en/publications/environment-energy/www-ee-library/sustainable-energy/world-energy-assessment-energy-and-the-challenge-of-sustainability/World%20Energy%20Assessment-2000.pdf> > Acesso em: Ago, 2014.

HOLLADAY, J. D.; HU, J.; KING, D. L.; WANG, Y. An overview of hydrogen production technologies. **Catalysis Today**. 139, 4, p.244–260. 2009.

HOSHINO, T.; DANIEL J., JOHNSON, MATTHEW SCHOLZ, JOEL L. CUELLO. Effects of implementing PSI-light on hydrogen production via biophotolysis in *Chlamydomonas reinhardtii* mutant strains. **Biomass and Bioenergy**, v.59, p. 243-252, 2013.

HOU, T.; YU, B.; ZHANG, S.; XU, T.; WANG, D.; CAI, W. Hydrogen production from ethanol steam reforming over Rh/CeO<sub>2</sub> catalyst. **Catalysis Communications**, v. 58, p. 137-140, 2015.

IBRAC – INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTUDOS DE CONCORRÊNCIA, CONSUMO E COMÉRCIO INTERNACIONAL. 2011. Disponível em: [www.ibrac.org.br/Noticias.aspx?id=919](http://www.ibrac.org.br/Noticias.aspx?id=919). Acesso em Fev, 2015.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Biofuels for transport: an international perspective, 2004. Disponível em: <<http://www.iea.org>> Acesso em: Ago, 2013.

\_\_\_\_\_. Energy Technology Perspectives 2006. Scenarios & Strategies to 2050. Paris: OECD/IEA, 2006.

\_\_\_\_\_. Transport, energy and CO<sub>2</sub>. Paris: International Energy Agency, 2009.

\_\_\_\_\_. Perspectivas em tecnologias energéticas, 2010. Disponível em: <[http://www.iea.org/techno/etp/etp10/Portuguese\\_Executive\\_Summary.pdf](http://www.iea.org/techno/etp/etp10/Portuguese_Executive_Summary.pdf)>. Acesso em: Ago, 2013.

\_\_\_\_\_. 2013a. Renewable Energy. Disponível em: <<http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/>>. Acesso em: Ago 2014

\_\_\_\_\_. 2013b. CCS is a necessity for a world hooked on fossil fuels. Disponível em: <<<http://www.iea.org/newsroomandevents/news/2013/january/name,34527,en.html>> . Acesso em: Ago 2014

\_\_\_\_\_. Key World Energy Statistics. International Energy Agency. 2014. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2014.html>> Acesso em: Nov, 2014.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos. In: Workshop Internacional Brasil - Japão: Implicações Regionais e Globais em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 3, 2005, Anais..., Campinas, 2005.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Acesso em: Jul, 2014.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p., 2007.

IPHE - INTERNATIONAL PARTNERSHIP FOR THE HYDROGEN ECONOMY. Strona internetowa Międzynarodowego Partnerstwa Na Rzecz Ekonomii Wodoru. 2009. Disponível em: <<http://www.iphe.net/index.html>>. Acesso em: Mai, 2013.

IZQUIERDO, U.; BARRIO V. L. ; CAMBRA, J. F.; REQUIES, J.; GUEMEZ, M. B.; ARIAS, P. L.; G. KOLB , R. ZAPF , A.M. GUTIE RREZ , J.R. Arraibi. Hydrogen production from methane and natural gas steam reforming in conventional and microreactor reaction systems. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, p. 7026-7033, 2012.

JACCARD, M. **Sustanaible fossil fuel: the unusual suspect in the quest for clean and enduring energy**. Cambridge University Press, 2005.

JANK, M. S.; NASSAR, A. M. – Competitividade e globalização. Economia e gestão dos negócios agroalimentares. In: ZYLBERSZTAJN, D., NEVES, M. F. (Org). Economia e gestão dos negócios agroalimentares. São Paulo: Pioneira, 428 p., 2000.

JUNG, C. F. **Metodologia Científica e Tecnológica**, 3a ed., 2010. Disponível em: <[www.metodologia.net.br](http://www.metodologia.net.br)>. Acesso em: Ago, 2013.

KAPDAN, I. K.; KARGI, F. Bio-hydrogen production from waste materials. *Enzyme and microbial technology*, v. 38, n. 5, p. 569-582, 2006.

KAKIMOTO, S. K.; SOUZA FILHO, H. M. de. Cenário da cadeia produtiva do ovo no estado de São Paulo. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos, 33. Anais... Salvador, 2013.

KAMMEN, D. M. The rise of renewable energy. **Scientific American**, USA, Set. p.84-93, 2006.

KESKIN, T.; ABO-HASHESH, M.; HALLENBECK, P. C.. Photofermentative hydrogen production from wastes. **Bioresource Technology**, v.102, n. 18, 2011, p. 8557-8568.

KESKIN, T.; PATRICK C. HALLENBECK. Hydrogen production from sugar industry wastes using single-stage photofermentation. **Bioresource Technology**, v. 112, , p. 131-136. 2012.

KHAN, Z.; YUSUP, S.; AHMAD, M. M.; CHIN, B. L. F.. Hydrogen production from palm kernel shell via integrated catalytic adsorption (ICA) steam gasification. **Energy Conversion and Management**, v. 87, p.1224-1230, 2014.

KOBAYASHI, Y.; KENICHIRO K.; TAKASHI Y.; YUYA T.; KOHEI, I.; KAZUNARI, S. A solid polymer water electrolysis system utilizing natural circulation. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n.29, p.16263-16274, 2014.

KORONEOS C.; DOMPROS A.; ROUMBAS G. Hydrogen production via biomass gasification- a life cycle assessment approach. **Chemical Engineer Process**. 47:1261–1268. 2008.

KOTAY, S. M.; DAS, D.. Biohydrogen as a renewable energy resource—prospects and potentials. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, n. 1, p. 258-263, 2008.

KRAUS, T. Hydrogen Fuel—An Economically Viable Future for the Transportation Industry?. **Duke Journal Economics Spring**, v. 19, p. 1-39, 2007. Disponível em: <<http://econ.duke.edu/uploads/assets/dje/2007/Kraus.pdf>> Acesso em: Set, 2013.

KWAK, B. S.; JINHO C., MISOOK K.. Design of a photochemical water electrolysis system based on a W-typed dye-sensitized serial solar module for high hydrogen production. **Applied Energy**, v. 125, p. 189-196, 2014.

LABORDE, M. A.; LOMBARDO, E. A.. **Potencialidades del hidrogeno como vector de energia em iberoamérica**. Buenos Aires: Ediciones CYTED, 80 p.,2010. Disponível em: <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/publicos/potencialidade/potencialidadesdelhidrogeno.pdf>> Acesso em: Jan, 2014.

LACERDA, A. C.; REIS, D. R.; PERINI, F. A. B.; CARVALHO, H. G. de.; CAVALCANTE, M. B.; BRUEL, S. **Tecnologia: Estratégia para a Competitividade**: inserindo a variável tecnológica no planejamento estratégico: o caso Siemens. São Paulo: Nobel, 173 p, 2001.

LAMTEC. Energias Renováveis: Hidrogênio. 2014. Disponível em: <http://www.lamtec-id.com/energias/hidrogenio.php>. Acesso: Out, 2014.

LELLIS, V. L. M. (Coor). **Relatório Final de atividades**. Metas 4 e 5: Projeto UTILH2. Rio de Janeiro. Instituto Nacional de Tecnologia (INT), 2010. Disponível em: <<http://repositorio.int.gov.br:8080/repositorio/bitstream/123456789/289/1/UTILH2%20E2%80%93%20mapeamento%20de%20dados%20e%20informa%C3%A7%C3%B5es%20para%20subsidiar%20a%20economia%20do%20H2.pdf>>. Acesso em: Out, 2013.

LEYBROS, J.; GILARDI, T.; SATURNIN, A.; MANSILLA, C.; CARLES, P. Plant sizing and evaluation of hydrogen production costs from advanced processes coupled to a nuclear heat source. Part I: Sulphur–iodine cycle. Part II: Hybrid-sulphur cycle. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, n. 3, p. 1008-1028, 2010.

LINARDI, M. Hidrogênio e Células a Combustível. **Economia & Energia**. Ano XI – N° 66 Fevereiro - Março 2008. Disponível em: <[http://ecen.com/eee66/eee66p/hidrogenio\\_e\\_celulas\\_a\\_combustivel.htm](http://ecen.com/eee66/eee66p/hidrogenio_e_celulas_a_combustivel.htm)> Acesso em: Ago, 2013.

LIPMAN, T. E. What will power the hydrogen economy? Present and Future Sources of Hydrogen Energy. Analysis and report prepared for the Natural Resources Defense Council. Publication n. UCD-ITS-RR-04-10. University of California, 2004. Disponível em: <<file:///I:/2004-UCD-ITS-RR-04-10.pdf>> Acesso em: Nov, 2013.

LIPMAN, T. E.; EDWARDS, J. L.; KAMMEN, D. M. “Fuel cell system economics: comparing the costs of generating power with stationary and motor vehicle PEM fuel cell systems”. **Energy Policy**, 32 p. 101–125, 2004.

LISBOA, J. S.; SANTOS, D. C. R. M.; PASSOS, F. B.; NORONHA, F. B.. Influence of the addition of promoters to steam reforming catalysts. **Catalysis Today** v. 101, p. 15–21, 2005.

LISBOA, J. S.; TERRA, L. E.; SILVA, P. R. J.; SAI TOVITCH, H.; PASSOS, F. B.. Investigation of Ni/Ce–ZrO<sub>2</sub> catalysts in the autothermal reforming of methane. **Fuel Processing Technology**, v.92:, n.n. 10, p. 2075-2082. 2011.

LORENZI, B. R.; ANDRADE, T. N. **Pesquisas sobre células a combustível no Brasil**. In: Abordagens em Ciência, Tecnologia e Sociedade. Marinho, M. G. S. M. C.; Silveira, S. A. da; Monteiro, M.; Dias, R. B.; Campos, C.. Santo André: Universidade Federal do ABC, .p. 165-188, 292 p., 2014.

LU, G.Q.; COSTA, J. C. D. DA; DUKE, M.; GIESSLER, S.; SOCOLOW, R.; WILLIAMS, R. H.; KREUTZ, T. Inorganic membranes for hydrogen production and purification: A critical review and perspective. **Journal of Colloid and Interface Science**. v.314, p.589-603, 2007.

LUBE, F. **Energia do hidrogênio: mudanças paradigmáticas rumo à uma “economia verde” no Brasil**. 2012. 141 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, E.S., 2012.

MACALLISTER, S.; CHEN, J-Y.; FERNANDEZ-PELLO, A. C. Diesel engines in Fundamentals of combustion processes. **Mechanical Engineering Series**. New York, p. 227-241, 2011.

MAGGI, B. Apagões e o risco de déficit no brasil. Disponível em: <<http://www.cenariomt.com.br/noticia/343734/apagoes-e-o-risco-de-deficitde-energia-no-brasil.html>>. Acesso em: Nov, 2014

MALUF, R. S.; WILKINSON, J.; BELIK, W. **Reestruturação do sistema agroalimentar: questões metodológicas e de pesquisa**. Mauad Editora Ltda. Rio de Janeiro. 198 p. 1999.

MARCHETTI, C.; NAKICENOVIC, N. The dynamics of energy systems and the logistic substitution model. **International Institute for Applied System Analysis**, Austria, 1979.

Disponível em: < <http://webarchive.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/RR-79-013.pdf>>  
Acesso em: Jan, 2014.

MARIOTTO, F. L. O Conceito de Competitividade da Empresa: Uma análise crítica. *Revista de Administração de Empresas*. p 37-52., 1991.

MARQUES, A. R.; AUGUSTO, A. F.; MONTEIRO, P. T. Seminários de desenvolvimentos sustentável. Instituto superior técnico. LEQ-LEFTLEIC, relatório de seminários, Lisboa, 38p. 2004.

MARQUES, F. M. R. Gás natural e descarbonização da economia brasileira. **Revista BSP**, v.2, p.8-10, 2011. São Paulo, jul., 2012.

MATTOS, J. R. L. de; GUIMARÃES, L. S. **Gestão da tecnologia e inovação: uma abordagem prática**. São Paulo. Saraiva. 278 p. 2005.

MARIGLIANO, G.; BARBIERI, G.; DRIOLI, E.. Effect of energy transport on a palladium-based membrane reactor for methane steam reforming process. **Catalysis Today**. v. 67, p. 85-99, 2001.

MATOS, M. B. de. Investimentos financeiros em projetos de células a combustível e hidrogênio no Brasil. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MCDOWALL, W.; EAMES, M. Forecast, scenarios, visions, backcasts and roadmaps to the hydrogen economy: a review of the hydrogen future literature. **Energy Policy**. v. 34:, 2006, 1236–1250.

MELCHIORI, T.; DI FELICE, L.; MOTA, N.; NAVARRO, R. M.; FIERRO, J.L.G.; VAN SINT ANNALAND, M.; GALLUCCI, F.. Methane partial oxidation over a LaCr 0.85 Ru 0.15 O<sub>3</sub> catalyst: Characterization, activity tests and kinetic modeling. **Applied Catalysis A: General**, v. 486, p. 239-249, 2014.

MELZ, L. J.; SOUZA FILHO, H. M. Avaliação da competitividade da produção de carne de frango em Mato Grosso. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 7, n. 2, p. 25-57, 2011.

MIRANDA, P. E. V. Novas tecnologias para o uso energético do hidrogênio. COPPE. PEMM. 2011. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0cbwqfjaa&url=http%3a%2f%2feventos.uece.br%2fsiseventos%2fprocessaevento%2fevento%2fdownloadarquivo.jsf%3bjsessionid%3d73ba23a4caff67bf61f37e6224ef.eventoss2%3fid%3d10%26diretorio%3ddocumentos%26nomearquivo%3d10-08042011-63656.pdf%26contexto%3dhfes&ei=rxpyu4yoeyjfsashmykwbg&usq=afqjcnhgplesqqvjp2f1bqod29ryvtah6q&sig2=rrj1sjthpbrakwgc4b5ga&bvm=bv.73231344,d.cwc>. Acesso em: Mar, 2014.

MIURA, Y. Hydrogen production by biophotolysis based on microalgal photosynthesis. **Process Biochemistry**, v. 30, n.1, p. 1-7, 1995.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2014. Brasil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/hidrogenio>. Acesso em: Set, 2014.

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Cenário energético brasileiro, plano decenal e planejamento energético 2030**. Disponível em: <[http://www.carvaomineral.com.br/arquivos/cenario\\_energetico\\_brasileiro.pdf](http://www.carvaomineral.com.br/arquivos/cenario_energetico_brasileiro.pdf)>. Acesso em: Ago, 2014.

\_\_\_\_\_. Balanço Energético Nacional (BEN): exercício de 2006. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: Out, 2014.

\_\_\_\_\_. Energia no Mundo. Matrizes Energéticas. Matrizes Elétricas. Indicadores. Edição de Outubro de 2014. Disponível em: <http://www.aben.com.br/Arquivos/288/288.pdf>. Acesso em: Dez, 2014.

MORALES M., F. ESPIELL, M. SEGARRA. Performance and stability of La<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>CoO<sub>3-δ</sub> perovskite as catalyst precursor for syngas production by partial oxidation of methane. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 12, p.6454-6461, 2014.

MOREIRA, R.; CARVALHO, F. M. S. de; BERGAMASCHI, V. S.; POLITANO, R. Patentes depositadas em âmbito nacional como indicador de desenvolvimento das tecnologias de produção de hidrogênio. **Química Nova**, v.36, n.5, p. 748-751, 2013.

MPF – MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. 2010. Disponível em: [www.prsp.mpf.mp.br/sala-de-imprensa/pdfs-das-noticias/ACP%20Cartel%20gases.pdf](http://www.prsp.mpf.mp.br/sala-de-imprensa/pdfs-das-noticias/ACP%20Cartel%20gases.pdf). Acesso em: Mar, 2015.

MÜLLER, G. A competitividade como um caleidoscópio. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 23-32, jan./mar. 1994.

MÜLLER, G. A conceitualização de competitividade: um exercício metodológico. OLAM Ciência & Tecnologia. Rio Claro/ SP, Brasil –v. 6, p. 11-21, 2006.

MURADOV, N.. Hydrogen via methane decomposition: an application for decarbonization of fossil fuels. **Internation Journal of Hydrogen Energy**, v. 26, p. 1165-1175, 2001.

NAKICENOVIC, N. Energy Perspectives into the Next Millennium: from resources scarcity to decarbonization. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 62, p. 101–106, 1999.

NAVARRO, R. M., PENÁ, M. A., FIERRO, J. L. G. Hydrogen Production Reactions from Carbon Feedstocks: Fossil Fuels and Biomass. **Chemical Reviews** v.107, p.3952-3991, 2007

NETO, E. H. G. **Hidrogênio, evoluir sem poluir**: a era do hidrogênio das energias renováveis e das células a combustível. Curitiba: Brasil H2 Fuell Cell Enegy. 240 p. 2005.

NEVES, M. F. **Sistema Agroindustrial Citrícola**: Um Exemplo de Quase-Integração no Agribusiness Brasileiro. 1995. 116p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Economia - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.



\_\_\_\_\_. Método para Planejamento e Gestão Estratégica de Sistemas Agroindustriais (GESis). *Revista de Administração (RAUSP)*, São Paulo, v.43, n.4, p.331-343, 2008.

\_\_\_\_\_; CONEJERO, M. A. Uma contribuição empírica para geração de métodos de planejamento e gestão. *Revista de Administração – RAUSP*, São Paulo, v. 47, n. 4, p. 699-714, 2012.

NICODEMOS, R. M.; LIMA, A. M.; ASSIS, A. J. **Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis**. *Horizonte Científico*, Uberlândia, v. 5, n. 1, p. 1-24, 2011.

NORBECK, J. M. **Hydrogen fuel for surface transportation**. New York, Ed. Society of Automotive Engineers, 2003.

NI, M.; LEUNG, D. Y. C.; LEUNG, M. K. H.; SUMATHY, K. An overview of hydrogen production from biomass. **Fuel Processing Technology**, v. 87, n5, , p. 461-472, 2006.

NI, M.; LEUNG, M. K. H.; SUMATHY, K.; LEUNG, D. Y. C. Potential of renewable hydrogen production for energy supply in Hong Kong. **International Journal Hydrogen Energy**; v. 31, p.1401-1412, 2006.

NIEVA, M. A.; VILLAVERDE, M. M.; MONZÓN, A.; GARETTO, T. F.; MARCHI, A. J.. Steam-methane reforming at low temperature on nickel-based catalysts. **Chemical Engineering Journal**, v. 235, , p. 158-166, 2014.

OAIGEN, R. P. Avaliação da competitividade em sistemas de produção de bovinocultura de corte nas regiões sul e norte do Brasil, 2010. 233 p. Tese (Doutorado) – Zootecnia, Área de concentração Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27033/000763212.pdf?sequence=1>. Acesso em: Abr, 2014.

OGDEN, J. M. Prospects for Building a Hydrogen Energy. **Energy & Environment - Princeton: Annual Reviews**, v. 24, pp. 228-279, 1999.

ORECCHINI, F.; BOCCI, E. Biomass to hydrogen for the realization of closed cycles of energy resources. **Energy**, v.32, p.1006–1011, 2007.

ODELL, P. R. Why carbon fuels will dominate the 21st century's global energy economy. Peter Odell: London, 2004.

PASSOS F. B.; MATTOS, L. V.; PASSOS, F. B.; OLIVEIRA, E. R. DE. Partial oxidation of methane to synthesis gas on Pt/CexZr1-xO2 catalysts: the effect of the support reducibility and of the metal dispersion on the stability of the catalysts. **Catalysis Today**, v. 101, n 1, , p. 23-30, 2005

PATERNOSTRO, A. G. O Modelo regulatório para transporte de gás como base para introdução do hidrogênio como vetor energético. 2009. Disponível em: <<http://cdmenergy.com.br/Transporte%20H2%20Paternostro%20UNINDU.pdf>> Acesso em: Set, 2013.

PETROBRÁS – PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. Destaques Operacionais: Produção Mensal de Óleo e Gás Natural - Brasil e Internacional. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/destaques-operacionais/producao/producao-mensal-de-oleo-e-gas-natural-brasil-e-internacional/producao-mensal-de-oleo-e-gas-natural-brasil-e-internacional.htm>> Acesso em: Jan, 2015

PEREZ, R. **Uma análise exploratória da competitividade e agregação de valor da cadeia produtiva de carne bovina no Brasil, com ênfase no segmento de abate e processamento.** Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas, SP, 2003.

PEREIRA, P.R.F.; FUNCKE, A. L.; LIMA, L. C. O. Desenvolvimento de cadeias de produção locais e sua inter-relação com a economia global: O caso da banana no Estado do Rio de Janeiro. In: 46th Congress, July 20-23, 2008, Rio Branco, Acre, Brasil. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2008. Anais... Branco-AC, 2008.

PONTES, P.H. Economia do Hidrogênio: Estratégias do Brasil e da Islândia. 2008. Disponível em: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KHr3IcVoDpwJ:www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/eventos/seminariointernacional/2008/arquivos/S\\_PedroHenrique.ppt+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KHr3IcVoDpwJ:www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/eventos/seminariointernacional/2008/arquivos/S_PedroHenrique.ppt+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br). Acesso em: Jan, 2014.

PORTER, M. E. A Vantagem Competitiva das Nações. In: PORTER, M. E. **Competição: estratégias competitivas essenciais.** Gulf Professional Publishing, 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, p. 167-208, 1990. <Disponível em: <http://www.latec.uff.br/mestrado/ADE%20Site/Texto%2014.pdf>> Acesso em: Fev, 2014.

PORTER, M. E. **Competição = on competition: estratégias competitivas essenciais.** Rio de Janeiro: Campus, 1999.

RAFFI, S. A.; MASSUQUETTI, A.; ALVES, T. W.. Os investimentos estatais na geração de hidrogênio no Brasil. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 16, n. 16, p. 3099- 3112, 2013.

REGINA, I. C.; LOPES, M. C. Ônibus a célula a combustível hidrogênio para transporte urbano no Brasil. ENGENHARIA, TRANSPORTE EMTU/SP. p. 118-120, 2012. Disponível em: <[http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao616/616\\_onibus\\_celula.pdf](http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao616/616_onibus_celula.pdf)>. Acesso em: Mai, 2014.

REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável.** São Paulo, Manole, 2. ed, 460 p., 2005.

RENEWABLE ENERGY NETWORK FOR THE 21st CENTURY (REN21). **Renewables 2010 Global Status Report.** Fraça: REN21 Secretariat, 2010. Disponível em: <[http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/REN21\\_GSR\\_2010\\_full\\_revised%20Sept2010.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf)> Acesso em: Fev, 2014.

REVISTA PEQUENAS EMPRESAS, GRANDES NEGÓCIOS. São Paulo, Brasil. Ed. Mar, 2010. p. 24-29. Disponível em: < <http://www.ibg.com.br/portal/pdf/PEGN.pdf>>. Acesso em: Set, 2014.

RIFKIN, J. A **Economia do Hidrogênio**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda., 2003. 300p.

RODRIGUES, W.; ARAÚJO, A. P.; LUNCKES, J.F.; ARAÚJO, A. F. Competitividade da cadeia produtiva da carne bovina no estado do Tocantins. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.39, n.4, p.294-300, 2009. Disponível em:<<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/viewFile/5540/5847>>. Acesso em: Abr,2014.

ROHRICH, S. S. **Descarbonização do Regime Energético Dominante**: Perspectivas para a economia do hidrogênio no Brasil. 2008. 173 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2008.

\_\_\_\_\_; PEREIRA, N. M. Descarbonização do regime energético dominante: perspectivas para a economia do hidrogênio no Brasil. **Espaço Energia**, Rio de Janeiro: Unicamp, v.14, p.12-22, 2011. Disponível em: <http://www.unicamp.br/anuario/2011/IG/DPCT/DPCT-0001.html>. Acesso em: Jan, 2014.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 844 p.

ROGGIA, R. S.; GITAHY, PAULA F. S. de C. R.; NETTO, A. dos S.; VENÉRIO, C. C.; JUNIOR, L. W.. Energia Renovável: A Energia do Hidrogênio aplicada à geração de energia elétrica de células à combustível In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 29, 2009. Salvador Anais... 2009, Salvador.

ROSSI, R. M. **Método para análise interna das organizações**: uma abordagem a partir da Resource-Advantage Theory. 255p., Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

ROSTRUP-NIELSON, J. R.; SEHESTED, J. e NORSHOV, J. K.. Hydrogen na synthesis gas by steam and CO2 reforming. **Advances in Catalysis**, v. 47, p. 65-139, 2002.

ROTTAVA, W. **Estimativa de produção de hidrogênio para aplicação em célula a combustível** - estudo de caso: Granja Colombari. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis - UFPR Setor Palotina, como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo em Biocombustíveis. Universidade Federal do Paraná. Setor Palotina. Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis. Palotina-PR Julho de 2013. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/35140/TCC%20final.pdf?sequence=1> . Acesso em: Out, 2014.

RUIZ, J. A. C.; PASSOS, F. B., BUENO, J. M. C., SOUZA-AGUIAR, E. F.; MATTOS, L. V.; NORONHA, F. B.. Syngas production by autothermal reforming of methane on supported platinum catalysts. **Applied Catalysis A: General**, v. 334, n. 1-2, p.259-267, 2008.

\_\_\_\_\_. Autothermal Reforming of Methane under low Steam/Carbon ratio on supported Pt Catalysts. **Studies in Surface Science and Catalysis**, v. 167, p. 249-254, 2007,

SAADY, N. M. C. Homoacetogenesis during hydrogen production by mixed cultures dark fermentation: Unresolved challenge. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 38, n.30, , p. 13172-13191, 2013.

SANCHEZ, J. E TSOTSIS, T. T.. Current developments and future research in catalytic membrane reactors. In: BURGGRAAF, A. J. ; COT, L. **Fundamental of Inorganic Membrane Science and Technology**. Membrane Science and Technology Series 4. Ed. Elsevier, Hardbound, 546 p. 1996. Disponível em < <https://books.google.com.br/books?id=-T45TD9Pv->

QC&pg=PA99&lpg=PA99&dq=Fundamental+of+Inorganic+Membrane+Science+and+Technology,+Cap.+11,+Membrane+Science+and+Technology&source=bl&ots=Mt4Vw5N-c-&sig=BI8zFjIw0uEZJgWMtPhzPaNrsiY&hl=pt-BR&sa=X&ei=6jpuVdmFJ8H3yQTY0ILgBA&ved=0CDkQ6AEwAw#v=onepage&q=529&f=false> Acesso em Out, 2014.

SANTOS, D. C. R. M.; LISBOA, J. S.; PASSOS, F. B.; NORONHA, F. B.. Characterization of steam reforming catalysts. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. v. 21, p. 203 - 209, 2004.

\_\_\_\_\_. Efeito da adição de  $Y_2O_3$  e  $CEO_2$  ao catalisador  $Ni/\alpha-Al_2O_3$  na reação de reforma autotérmica do metano. 2009. 223 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Química - Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói , 2009.

\_\_\_\_\_.; MADEIRA L., PASSOS F.B., The effect of the addition of  $Y_2O_3$  to  $Ni/\alpha-Al_2O_3$  catalysts on the autothermal reforming of methane. **Catalysis Today**. v.149, p.401-406 , 2010.

SANTOS, F. M. S. M. D.; SANTOS, F. S. C. M. D.. O combustível “Hidrogênio”. **Revista Millenium**, n. 31, p. 252-70. 2005.

SARACCO, G.; VERSTEEG G. F.; VAN SWAWIJ, W. P. M. Current hurdles to the success of high-temperature reactors. **Journal of Membrane Science**, v. 95, p. 105-123, 1994.

SAXENA, R. C.; SEAL, D.; KUMAR, S.; GOYAL, H.B. Thermo-chemical routes for hydrogen rich gas from biomass: a review. **RenewSust Energy**. v. 12, p.1909–1927, 2008.

SCALCO, A. R.. Proposição de um modelo de referência para gestão da qualidade na cadeia de produção de leite e derivados, 2004, 225p, Tese (de Doutorado), Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

SCHULTZ, G.; WALQUIL, P.D. (Org.). Políticas públicas e privadas e competitividade das cadeias produtivas agroindustriais. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 80 p., 2011. (Série Educação a Distância). Disponível em < <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad026.pdf>> Acesso em: Jan, 2014.

SCOMA, A.; KRAWIETZ, D.; FARALONI, C.; GIANNELLI, L.; HAPPE, T.; TORZILLO, G. Sustained H2 production in a Chlamydomonas reinhardtii D1 protein mutant. **Journal of Biotechnology**, Volume 157, n. 4, 20, p.613-619, 2012.

SENAI. Departamento Regional do Paraná. **Rotas estratégicas para o futuro da indústria paranaense**: roadmapping da biotecnologia aplicada à indústria animal – 2015. / SENAI. Departamento Regional do Paraná. – Curitiba: SENAI/PR, 49 p., 2007. Disponível em: <[http://www.fiepr.org.br/observatorios/uploadAddress/Biotecnologia\\_Animal\[48637\].pdf](http://www.fiepr.org.br/observatorios/uploadAddress/Biotecnologia_Animal[48637].pdf)>. Acesso em: Abr, 2014.

SHONO, C. F.; RICIERI, E. C.; AMADO, L. C.; BIMBATTI, M. L.; SEOAN, M. E.. Marcas próprias gerando vantagens competitivas no mercado varejista. 2011. Disponível em: <[http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/CCSA/Publicacoes/Jovens\\_Pesquisadores/06/4.6.07.pdf](http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/CCSA/Publicacoes/Jovens_Pesquisadores/06/4.6.07.pdf)>. Acesso em: Fev, 2015.

SILVA, E. P. **Introdução à Economia do Hidrogênio**, Campinas, SP, Editora Unicamp, 1991.

\_\_\_\_\_.; CAMARGO, J. C.; SORDI, A.; SANTOS, A. M. R. Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento. O futuro dos recursos. **Multi Ciência**, Campinas, v. I, p. 1-22, 2003. Disponível em: <[https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos\\_01/A4\\_SilvaCamargo\\_port.PDF](https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_01/A4_SilvaCamargo_port.PDF)>. Acesso em: Ago, 2014.

SILVA, C. A. B da.; BATALHA, M. O. Competitividade em sistemas agroindustriais: metodologia e estudo de caso. In: II Workshop Brasileiro de Gestão de Sistemas Agroalimentares – PENSEA/FEA/USP. Anais... Ribeirão Preto-SP, 1999. p. 9- 19.

\_\_\_\_\_. (Coord.) Estudo sobre a eficiência econômica e competitividade da cadeia agroindustrial da pecuária de corte no Brasil / IEL, CNA e SEBRAE. Brasília: IEL, 2000. Disponível em: <[http://201.2.114.147/bds/bds.nsf/ED1868E46FC6979B832573320044536A/\\$File/NT00035F36.pdf](http://201.2.114.147/bds/bds.nsf/ED1868E46FC6979B832573320044536A/$File/NT00035F36.pdf)> Acesso em: Mar, 2014.

SILVA, C. A. B.; SOUZA FILHO, H. M. **Guidelines for rapid appraisals of agrifood chain performance in developing countries**. FAO, Rome, 2007. 111 p.

SOUZA, L. S. **Hagadois energia**: viabilidade de uma empresa de base tecnológica. Trabalho de Conclusão de Estágio apresentada à disciplina Estágio Supervisionado CAD 5236, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Administração da Universidade Federal de Santa Catarina, área de concentração em Administração. Florianópolis – SC, 2005. Disponível: <http://tcc.bu.ufsc.br/Adm294821>. Acesso: Ago, 2014.

SOUZA, S. D. C.; ARICA, J. . Competitividade industrial e regional: medidas e dicotomias. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 22. Anais... Curitiba - PR, 2002.

SOUZA, M. M. V. M. **Tecnologia do Hidrogênio**. Rio de Janeiro: Synergia: FAPERJ, 132 p., 2009.

SOUZA, M. M. V. M. **Processos Inorgânicos**. Rio de Janeiro: Synergia: FAPERJ, 713 244 p., 2012.

SOUZA D. I.; MÜLLER D. M.; FRACASSI M. A. T.; ROMEIRO S. B. B. Manual de orientações para projetos de pesquisa. Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha. Novo Hamburgo 2013. Disponível em: <[http://www.liberato.com.br/sites/default/files/manual\\_de\\_orientacoes\\_para\\_projetos\\_de\\_pesquisa.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/manual_de_orientacoes_para_projetos_de_pesquisa.pdf)> Acesso em: Mai, 2014.

SOUZA, B. S.; GOMES V. C. O.; LIMA F. M. C.; SHIMIZU S. A.; SILVA M. A. S. Banco Mundial(BM). Guia de Estudos. Sinus 2014. Compartilhando Responsabilidades na promoção da justice. Disponível em: <<http://sinus.org.br/2014/wp-content/uploads/2013/11/BM-Guia-Online.pdf>>. Acesso em: Out, 2014

STEFANELLI, E. J.. **Célula à Combustível – Energia elétrica a partir do hidrogênio**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.stefanelli.eng.br/webpage/celula-combustivel/celula-a-combustivel.html>>. Acesso em: Fev, 2014.

STEINFELD, A. Solar hydrogen production via two-step water-splitting thermochemical cycle based on Zn-ZnO redox reactions. **International Journal of Hydrogen Energy**. v.27, p.611-619, 2002.

TEUNER, S. Make CO from CO<sub>2</sub>. *Hydrocarbon Processing*, v. 64, p. 106-107, 1985.

THOMAS, C. E.; JAMES B.D.; LOMAX, Jr. F. D. Market penetration scenarios for fuel cell vehicles. **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol 23, N. 10, pp. 949-966, 1998.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos** - CEBRAP, São Paulo, n. 79, p.47-69, 2007.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2013-2022)**. Rio de Janeiro. 2012. (Série Estudos da Demanda - Nota Técnica DEA 22/12).

UDDIN, M. A.; TSUDA, H.; WU, S.; SASAOKA, E.. Catalytic decomposition of biomass tars iron oxide catalysts. **Bioresource Technology**. Fuel v. 87, p. 451-459, 2007.

UDERGAARD, N. R.; HANSEN, J-H. B.; HANSON, D. C.; STAL, J. A. Sulfur passivated reforming processes lowers syngas H<sub>2</sub>/CO ratio. **Oil & Gas Journal**, v. 90, p. 62-67, 1992.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. 2006. The hydrogen economy. Disponível em: [file:///C:/Users/Professor/Desktop/disserta%C3%A7%C3%A3o/0601\\_UNEP\\_-\\_The\\_hydrogen\\_economy.pdf](file:///C:/Users/Professor/Desktop/disserta%C3%A7%C3%A3o/0601_UNEP_-_The_hydrogen_economy.pdf). Acesso em: Mai, 2014.

VAN DUREN, E., MARTIN, L., WESTGREN, R.; Assessing the Competitiveness of Canada's Agrifood Industry. **Canadian Journal of Agricultural Economics**, v. 39, p. 727-738, 1991

VARGAS, R. A., RUBENS, C.; EGBERTO, G. F.; EMÍLIA, S. M. S. Hidrogênio: O Vetor Energético do Futuro?. 2006. Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca/2006/eventos/15435.pdf>. Acesso em: Out, 2014.

VAZ, A. P. M. Metano como fonte de olefinas leves: um estudo técnico-econômico dos processos MTO (methanol to olefins). Projeto de Final de Curso. Escola de Química. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 64p., 2007.

VELTZ, P.; ZARIFIAN, P. De la productivité des ressources à la productivité par l'organisation. **Revue Française de Gestion**, n.97, v.114, p.59-66, 1994.

VEZIROGLU, T. N. Hydrogen Energy, Parts A and B. Proceedings Hydrogen Economy Miami Energy Conference (THEME), Plenum Press, New York, 1975.

\_\_\_\_\_. Hydrogen technology for energy needs of human settlements. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 12, n. 2, p. 99-129, 1987.

\_\_\_\_\_. Twenty years of the hydrogen movement: 1974-1994. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 20, n.1, p. 1-7, 1995.

VIEIRA, P. L.; GARCIA, C. B.; GUIMARÃES, H. B.; TORRES, E. A.; PEREIRA, O. L. S. Gás natural: benefícios ambientais no Estado da Bahia. Bahiagás documenta. Salvador: Solisluna Design e Editora, 132 p., 2005. Disponível em: [http://www.bahiagas.com.br/download/livro\\_gas\\_natural.pdf](http://www.bahiagas.com.br/download/livro_gas_natural.pdf). Acesso em: Abr, 2014.

VOELCKER, J. 2013. Green Car Reports. Disponível em: [www.greencarreports.com](http://www.greencarreports.com). Acesso em: Dez, 2013.

WANG, M.; ZHI WANG, XUZHONG GONG, ZHANCHENG GUO. The intensification technologies to water electrolysis for hydrogen production – A review **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, , p. 573-588, 2014.

WENDT, H.; GÖTZ, M.; LINARDI, M. Tecnologia de células a combustível. **Química Nova**, v.23, n.4, p.538-546, 2000.

WHEC – WORLD HYDROGEN ENERGY CONFERENCE. 2012. Disponível em <http://www.whec2012.com/>.> In World Hydrogen Energy Conference, 2012. Acesso em: Mai, 2014.

WICHER, E.; SEIFERT, K.; ZAGRODNIK, R.; PIETRZYK, B.; LANIECKI, M.. Hydrogen gas production from distillery wastewater by dark fermentation. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 38, n. 19, p. 7767-7773, 2013.

WILTOWSKI, T.; MONDAL, K.; CAMPEN, A.; DASGUPTA, D.; KONIECZNY, A. Reaction swing approach for hydrogen production from carbonaceous fuels. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, n. 1, p. 293-302, 2008.

WONG, Y. M.; TA YEONG WU, JOON CHING JUAN. A review of sustainable hydrogen production using seed sludge via dark fermentation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, , p. 471-482. 2014.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Resources: Natural Gas**. 2013. Disponível em: [http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/WER\\_2013\\_3\\_Natural\\_Gas.pdf](http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/WER_2013_3_Natural_Gas.pdf).> Acesso em: Dez, 2014.

WORLD HYDROGEN ENERGY CONFERENCE – WHEC. 2012. Disponível em: [www.whec2012.com/](http://www.whec2012.com/). In World Hydrogen Energy Conference, 2012.

XU, Y.; XINHE BAO, LIWU LIN. Direct conversion of methane under nonoxidative conditions. **Journal of Catalysis**, v. 216, n. 1–2, , p. 386-395, 2003.

YIN, R. **Case study research: design and methods**. Thousand Oaks: Sage Publications, 171 p., 1994.

ZENONE, L. C. **Marketing estratégico e competitividade empresarial: Formulando estratégias mercadológicas para organizações de alto desempenho**. São Paulo: Editora Novatec. p.13-34, 2007. Disponível em: <http://novatec.com.br/livros/markest/capitulo9788575221174.pdf>>. Acesso em: Fev, 2015.

ZHOU, X.; CHEN, C.; WANG, F. Modeling of non-catalytic partial oxidation of natural gas under conditions found in industrial reformers. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 49, n.1, p.59-64, 2010.

ZMOGINSKI, A. S.; KWAK, A. B.; CANABARRA, C. M.; BERTOLINO, D. F.; YNONYE, F. Y.; ADES, C. Co-criação de valor: inovação no modelo de negócio obtendo vantagem competitiva. **Revista Jovens Pesquisadores**. n.10, p.46-65, .2009.

ZÜTTEL, A. Materials for Hydrogen Storage. **Materials Today**, September, p.24-33, 2003.

ZYLBERSZTAJN, D.. **Estruturas de governança e coordenação do agribusiness: uma aplicação da nova economia das instituições**. 1995, 238p. Tese (Tese de Livre Docência). Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo., São Paulo, 1995. Disponível em: [http://pensa.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Estruturas\\_de\\_governanca\\_e\\_coordenacao\\_do\\_agribusiness\\_uma\\_aplicacao\\_da\\_nova\\_economia\\_das\\_instituicoes\\_1995.pdf](http://pensa.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Estruturas_de_governanca_e_coordenacao_do_agribusiness_uma_aplicacao_da_nova_economia_das_instituicoes_1995.pdf)> Acesso em: Mai, 2015.



## APÊNDICE

O hidrogênio já possui importância industrial no Brasil. É utilizado na produção de vários compostos e cresce os estudos acerca de seu uso como vetor energético e a célula a combustível, como sistema de conversão. Para tanto, este trabalho analisa o atual regime energético brasileiro e o hidrogênio como uma opção energética. Busca identificar e analisar as iniciativas e condições de competitividade no Brasil, para o desenvolvimento da produção de energia a partir do hidrogênio a fim de servir energia estacionária e veicular, e, sobretudo, quanto às suas condições no desenvolvimento das cadeias que fomentam o uso desta fonte renovável a fim de que torne o país competitivo energética e economicamente e avançar em direção ao desenvolvimento sustentável do país.

Este roteiro de entrevistas faz parte da dissertação da aluna Tatiane da Silva Veras, desenvolvida no programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF), sob orientação da Professora Dra. Sc. Aldara da Silva César, do Departamento de Engenharia de Agronegócios, da mesma Instituição. A aluna tem formação em Engenharia de Produção pela UFF e Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente trabalha como professora.

Como a finalidade deste trabalho é investigar a competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil frente aos energéticos concorrentes, o roteiro de entrevistas aborda os seguintes aspectos:

Parte 1: Tecnologia – aborda as perspectivas para o setor do hidrogênio no Brasil, P&D, geração e difusão de tecnologias, disposição de patentes, nível tecnológico de produção e processamento, além de entraves ao aumento de produtividade do setor energético.

Parte 2: Insumos e Infraestrutura – avalia a disponibilidade, custos, qualidade dos insumos além da mão de obra e as condições de transporte e armazenamento.

Parte 3: Gestão – avalia a gestão da produção do hidrogênio, aspectos de qualidade e impacto ambiental, planejamento estratégico, entre outros.

Parte 4: Estrutura de Mercado e Governança – avalia os fatores envolvidos na comercialização do hidrogênio, escala de produção, existência de parcela de mercado, organização setorial e etc.

Parte 5: Ambiente Institucional – Por fim, esta parte investiga os programas e políticas setoriais, as linhas de créditos, incentivos fiscais e suas relações com a competitividade do hidrogênio no país.

Agradeço a colaboração, o que muito contribuirá para que o trabalho alcance o objetivo proposto.

**ROTEIRO DE ENTREVISTAS**  
**COM AGENTES DA CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO**

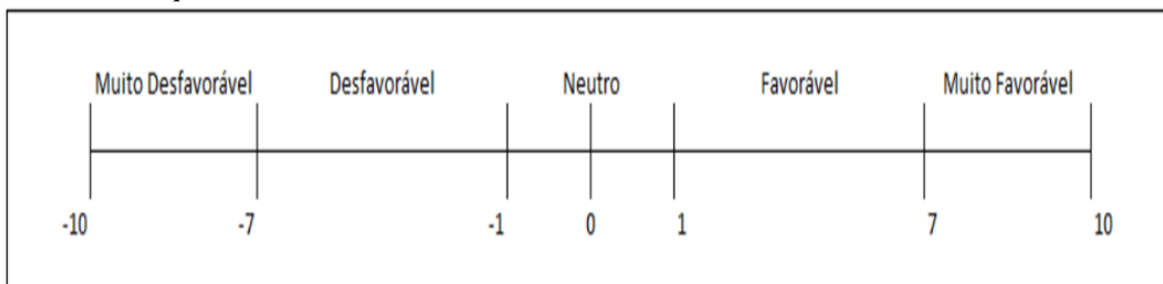
Assinale caso deseje receber um resumo com as principais considerações e conclusões da pesquisa.	Sim	Não

As informações aqui coletadas, assim como os dados obtidos serão tratados de maneira confidencial pelo pesquisador. As conclusões e observações serão relatadas de maneira genérica, sem fazer referências diretas, não identificando a sua fonte.

Entrevistado	
Instituição/Empresa	
Setor	
Cargo	
Formação Acadêmica	
Tempo na função	
E-mail	
Telefone/fax	
Endereço	
Data	

## PARTE 1: TECNOLOGIA

Nas questões de avaliação quantitativa, marque, de acordo com a escala abaixo, a sua opinião quanto ao item questionado:



1) Sua empresa/centro de pesquisa pesquisa, desenvolve ou comercializa hidrogênio a partir de qual matéria-prima?

	<b>Pesquisa</b>	<b>Comercializa/Produz</b>	<b>Desenvolve</b>
Gás Natural			
Etanol			
Biomassa			
Água			
Outros			

2) Considerando as quatro matérias primas citadas no Roteiro Beta (2005) e a tecnologia das células a combustível, classifique os prazos esperados para a implementação/comercialização da produção de hidrogênio em escala comercial.

	Existente	1 ano	5 anos	10 anos	20 anos	+ 20 anos (futuro)
Gás Natural						
Etanol						
Biomassa						
Água						
Células a combustível						

3) Dentre essas matérias-primas, quais dessas, em sua opinião, é considerada a melhor oportunidade na qual o Brasil poderá apresentar maiores vantagens competitivas?

4) Quais as linhas centrais de desenvolvimento de sua empresa? Quais os principais projetos em andamento, já realizados ou previstos pela instituição envolvendo o hidrogênio e (ou) a célula a combustível?

5) Quais os principais diferenciais do hidrogênio como vetor energético frente aos atuais? Acredita que o mercado reconhece/valoriza esses diferenciais?

6) Quanto ao hidrogênio, qual a posição do país em comparação com a perspectiva internacional? O status do desenvolvimento deste combustível no país é compatível com o panorama internacional?

7) (T1) Qual é a sua opinião para as perspectivas do setor de hidrogênio no Brasil? Existe investimento em tecnologia? De que tipo?

8) (T1) Acredita que no Brasil existe abundância de recursos em PD&I? Há continuidade dos recursos na pesquisa?

9) (T1) Em geral, quais os principais gargalos no desenvolvimento de tecnologia investida por sua empresa/instituição? E para o Brasil? Quais são os principais entraves para aumentar a competitividade do setor energético a partir do hidrogênio?

10) (T1) Os investimentos em tecnologia é um fator \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país.

- 11) (T1) A continuidade no investimento dos recursos na pesquisa é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país.
- 12) (T1) As perspectivas do setor de hidrogênio no Brasil é um fator \_\_\_\_\_.
- 13) (T2) Como avalia a geração de tecnologia para o setor de hidrogênio no país? As tecnologias do hidrogênio estão tecnicamente consolidadas? O país se encontra em estado avançado de pesquisa no setor?
- 14) (T2) Como avalia o nível tecnológico da produção de hidrogênio frente a outras fontes de energias renováveis?
- 15) (T2) O estado avançado de pesquisa no setor é \_\_\_\_\_ no país.
- 16) (T2) O nível tecnológico da produção de hidrogênio frente a outras fontes de energias renováveis é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país.
- 17) (T2) A consolidação de tecnologias do hidrogênio é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país.
- 18) (T3) Qual o cenário atual da propriedade intelectual em hidrogênio para fins energéticos?  
Empresas líderes -  
Pesquisadores líderes -  
Barreiras legais à comercialização –
- 19) (T3) O n° de patentes registradas no Brasil é suficiente? Existe patentes registradas por seu instituto?
- 20) (T4) Como avalia a difusão da tecnologias-chave para os empresários do setor?
- 21) (T4) Existe algum tipo de vínculo entre a indústria e pesquisadores de produção de hidrogênio?
- 22) (T4) A difusão de tecnologias chaves para a produção é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 23) (T4) O vínculo entre a indústria e pesquisadores de produção de hidrogênio é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país.
- 24) (T4) A parceria com instituições de pesquisas (ou a industria, ou o governo) é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 25) (T5) Quantas plantas estão instaladas no Brasil?
- 26) (T5) Qual a capacidade produtiva das plantas?
- 27) (T5) A quantidade do hidrogênio oriundo do gás natural é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 28) (T6) A qualidade do hidrogênio oriundo do gás natural é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 29) (T6) A qualidade do hidrogênio oriundo do etanol é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 30) (T6) A qualidade do hidrogênio oriundo da água é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 31) (T6) A qualidade do hidrogênio oriundo da biomassa é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 32) (T7) Em sua opinião, o uso de células a combustível representa uma das perspectivas futuras promissoras de uso do hidrogênio?
- 33) (T7) E quanto ao seu desenvolvimento? Sua tecnologia é consolidada?
- 34) (T7) No Brasil, quais os principais obstáculos e oportunidades para o hidrogênio e para a célula a combustível? Comente a respeito dos principais obstáculos e oportunidades enfrentados pelas instituições que estão se inserindo nesse novo contexto econômico.
- 35) (T7) Muitos autores argumentam que as células se encontrariam em um estágio bem mais avançado de desenvolvimento em relação ao desenvolvimento do hidrogênio. E no Brasil? É possível considerar que o desenvolvimento da célula a combustível já está consolidado no país, caso contrário ainda conseguiremos competir internacionalmente em relação à célula?
- 36) (T7) O desenvolvimento tecnológico da CaC é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 37) Que outros aspectos ainda não abordados aqui são importantes à tecnologia de hidrogênio?

## PARTE 2: INSUMOS E INFRAESTRUTURA

- 1) Quais os insumos pagos pelo entrevistado para a produção de hidrogênio?
- 2) (I1) Como avalia a disponibilidade de insumos e quantidade para a produção de hidrogênio no Brasil?
- 3) (I1) A produtividade de insumos para a produção de hidrogênio no país é \_\_\_\_\_ para a competitividade deste vetor energético. Por quê?
- 4) (I1) O preço dos insumos é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país. Por quê?
- 5) (I1) O custo da mão de obra é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país. Por quê?
- 6) (I1) A disponibilidade de insumos é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país. Por quê?
- 7) (I2) Como avalia a qualidade de hidrogênio produzido em função da matéria-prima?
- 8) (I2) A qualidade de insumos é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país. Por quê?
- 9) (I3) Como avalia as condições de infraestrutura de transporte e armazenamento de hidrogênio no Brasil?
- 10) (I3) A infraestrutura e os problemas referentes a ela requerem investimentos na cadeia produtiva para a economia do hidrogênio. No Brasil, qual dos aspectos a seguir possui os maiores problemas de desenvolvimento:
  - a) Produção do hidrogênio -
  - b) Transporte -
  - c) Armazenagem -
- 11) (I3) O transporte de hidrogênio é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país. Por quê?
- 12) (I3) O armazenamento de hidrogênio é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país. Por quê?
- 13) (I4) Quanto aos outros insumos usados nos processos como energia, temperatura e catalisadores, liste os pontos fortes, fracos, desafios e recomendações.
- 14) (I4) O consumo de energia nos processos é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país. Por quê?
- 15) (I4) O desenvolvimento de catalisadores é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio para fins energéticos no país. Por quê?
- 16) Que outros aspectos ainda não abordados aqui são importantes à infraestrutura e insumos de hidrogênio?

## PARTE 3: GESTÃO

- 1) (G1) Quanto custa produzir hidrogênio? Obs: pode ser em comparação a gasolina, por exemplo.
- 2) (G1) Os custos totais da produção são \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 3) (G2) Como avalia a mão de obra usada na produção de hidrogênio no Brasil, em termos de quantidade e qualidade?
- 4) (G2) Em vários momentos o Roteiro para a economia do hidrogênio aborda a necessidade de desenvolvimento de recursos humanos qualificados, o que a sua Instituição/empresa tem feito a respeito? Participa de cursos de graduação e pós-graduação sobre o tema?
- 5) (G2) A qualificação e disponibilidade da mão de obra é um fator \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 6) (G2) A existência de recursos humanos qualificados é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 7) (G2) A necessidade de desenvolvimento de recursos humanos qualificados é \_\_\_\_7\_\_\_\_ para a competitividade de hidrogênio no país.
- 8) (G3) As firmas adotam sistemas de certificações nacionais/internacionais?
- 9) (G3) Como avalia a certificação e normatização da produção de hidrogênio?

- 10)(G3) A certificação e normatização são \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 11)(G4) Existe preocupação com o controle de qualidade, impacto ambiental e etc.? Como isso pode ser notado?
- 12)(G4) O planejamento e controle de produção é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 13)(G4) A assistência técnica é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 14)(G4) O uso de tecnologia de informação por parte do entrevistado é um ponto \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 15)(G4) O marketing desenvolvido pelo entrevistado é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 16)(G4) O controle de qualidade em sua empresa é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?

#### PARTE 4: ESTRUTURA DE MERCADO E GOVERNANÇA

- 1) (EM1) Qual é o tempo de atuação de sua empresa no mercado de hidrogênio?

De 1 a 5 anos	De 5 a 10 anos	Acima de 10 anos

- 2) (EM1) O tempo de atuação das firmas instaladas no país é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 3) (EM2) O número de firmas (fins energéticos) instaladas no país é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 4) (EM2) O número de firmas (fins industriais) instaladas no país é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 5) (EM3) Como avalia a concentração de mercado do hidrogênio como energético?
- 6) (EM3) Quais outros produtos oferecem concorrência/risco à implementação do hidrogênio para fins energéticos no Brasil?
- 7) (EM4) Como avalia a quantidade de hidrogênio produzido no Brasil?
- 8) (EM4) Existe demanda para aumento de produção? Há interesse por parte do entrevistado?
- 9) (EM4) Quanto à escala de produção, qual é a produção anual de hidrogênio de sua empresa?
- 10) (EM4) A escala de produção pode interferir no poder de negociação com as empresas/instituições? De que forma?
- 11) (EM4) A capacidade de ampliação da escala de produção é \_\_\_\_\_ para a competitividade de hidrogênio no país. Por quê?
- 12) (EM4) A produção anual de hidrogênio no país é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 13) (EM4) A produtividade de hidrogênio para fins energéticos nas indústrias é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 14) (EM5) Quais as barreiras atuais à comercialização de hidrogênio no Brasil? Poderia comentar como essas poderiam ser diminuídas?
- 15) (EM5) Classifique os prazos para a comercialização de hidrogênio energético no Brasil, a partir dos processos abaixo:

	Existente	1 ano	5 anos	10 anos	20 anos	+ 20 anos (futuro)
Reforma a vapor: Gás Natural						
Reforma a vapor: Etanol						
Gaseificação: Biomassa						
Eletrólise: Água						
Células combustível						

- 16) (EM6) Como avalia as condições logística em relação a comercialização de hidrogênio no Brasil? As Unidades de Operações (UP) estão próximas aos centros distribuidores?
- 17) (EM6) As condições logísticas para a comercialização de hidrogênio no país é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 18) (EG1) Quais são as formas de negociação do hidrogênio entre as empresas produtoras e as instituições?
- 19) (EG1) Quais as vantagens e desvantagens das formas de negociação mais usada?
- 20) (EG1) Existe algum tipo de negociação entre produtor e empresas/instituições que usem hidrogênio pra fins energéticos?
- 21) (EG1) As formas de negociação do hidrogênio entre as empresas produtoras e as instituições é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 22) (EG2) Existe a atuação de algum sindicatos e associações? E sindicato de produtores de hidrogênio? Em caso positivo, o produtor é filiado a algum?
- 23) (EG2) Como é a formação dos preços? Há participação de sindicatos nesse processo?
- 24) (EG2) A existência, atuação e relação entre sindicatos e associações é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 25) (EG2) A formação de preços é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no país. Por quê?
- 26) (EG3) Existem parcerias com instituições para melhoria da produtividade? Quais instituições? Que tipo de parceria?
- 27) (EG3) É relevante manter relação/parceria de parceria com fornecedores?
- 28) (EG3) A relação/parceria com os fornecedores é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 29) (EG3) A relação entre entrevistado e os intermediários da cadeia de hidrogênio é \_\_\_\_\_ para a competitividade deste vetor energético no país. Por quê?
- 30) (EG3) A relação entre entrevistado e demais produtores/indústria/pesquisadores da cadeia de hidrogênio é \_\_\_\_\_ para a competitividade deste vetor energético no país. Por quê?
- 31) (EG3) O tipo de relação (contrato ou parceria) existente hoje entre produtores, indústrias e instituições de pesquisas é \_\_\_\_\_ para a competitividade de hidrogênio no Brasil. Por quê?

## PARTE 5: AMBIENTE INSTITUCIONAL

- 1) (AI1) Acredita que as linhas de crédito são adequadas para a produção e comercialização de hidrogênio? Essas linhas de crédito tem sido usadas? Por que? Como os incentivos fiscais afetam a competitividade do setor?
- 2) (AI1) Teve acesso a créditos com baixas taxas de juros?
- 3) (AI1) O acesso ao crédito para a produção de hidrogênio é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 4) (AI1) Os incentivos fiscais para a produção de hidrogênio é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil. Por quê?
- 5) (AI2) Como tem sido a participação do Brasil na IPHE? Comente a respeito da inserção do Brasil nessa parceria e quais os potenciais riscos e benefícios para o país.

6) (AI2) Qual o envolvimento da Instituição com o Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio e com o Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio? Como esses dois documentos estão relacionados?

7) (AI2) Qual o envolvimento do MME e MCT com o Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio e com o Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio? Como esses dois documentos estão relacionados?

8) (AI2) Em vários momentos o Roteiro para a economia do hidrogênio aborda a necessidade de desenvolvimento de recursos humanos qualificados, o que a sua Instituição/empresa tem feito a respeito? Participa de cursos de graduação e pós-graduação sobre o tema?

1) (AI2) O senhor(a) acredita que os programas governamentais são adequados para a produção de hidrogênio?

2) (AI2) Como avalia a legislação brasileira em relação ao uso de hidrogênio no Brasil? E em relação aos outros países?

3) (AI2) Existe a necessidade de criar uma política industrial para produção de hidrogênio? E quanto ao apoio do governo?

4) (AI2) Há algum órgão de governo em seu estado responsável por desenvolver políticas e programas que facilitem a produção regional? Qual? Qual o seu papel? Como ele tem agido?

5) (AI2) Como tem se dado a evolução dos projetos estruturantes que compõem subprogramas para a Estruturação da Economia do Hidrogênio?

a) Etanol

b) Eletrólise da água

c) Gás natural

d) Biomassa e processos alternativos

6) (AI2) Que tipo de interação tem sido promovida pelo Roteiro Beta entre as Universidades, Empresas, Órgãos governamentais e Institutos de Pesquisa? Como acontecem as discussões e são tomadas as decisões?

7) (AI2) Acredita que a produção de hidrogênio no Brasil é promissora? E o uso de fontes renováveis para essa produção?

8) A participação do Brasil na IPHE é \_\_\_\_\_ para a competitividade do hidrogênio no Brasil.

9) A criação de uma política industrial para produção de hidrogênio é \_\_\_\_\_.

10) Os programas governamentais são \_\_\_\_\_ para a produção de hidrogênio no país.

11) A legislação brasileira em relação ao uso de hidrogênio no Brasil é \_\_\_\_\_.

12) O apoio do governo na produção de hidrogênio no país é \_\_\_\_\_.