

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CAMPUS DE ARARAQUARA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E LETRAS**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

Projeto de iniciação científica

A célula de combustível no contexto das novas fontes de energia  
alternativa: uma análise comparativa das iniciativas nacionais e  
internacionais

Estudante: Carolina de Oliveira Resuto

Orientador: Prof. Dr. João Furtado

Araraquara, dezembro de 2001.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3 OBJETIVO.....	16
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
5 QUADRO DE ATIVIDADES E CRONOGRAMA.....	18
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

## **1 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA**

Choques de preços do petróleo, acidentes em usinas nucleares, intensidade da poluição atmosférica (dada a queima de combustíveis fósseis) e continuidade do crescimento rápido da população mundial, associados, geraram uma nova conjuntura. O estilo de desenvolvimento da economia mundial trouxe a preocupação quanto à exaustão de recursos energéticos naturais, sua relação com a deterioração do meio ambiente, além da questão da dependência externa em relação ao petróleo.

A demanda de energia e o uso dos combustíveis ocuparam posição de relevância para a deterioração do meio ambiente, posição esta centrada na dependência do petróleo e na sua contribuição, via emissões poluentes da atmosfera. As especulações sobre a demanda de energia se somaram às preocupações dos anos 70 com a exaustão das reservas de combustíveis, especialmente do petróleo, e as dos anos 80 e 90 no controle de maiores agressões ao meio ambiente. Nem sempre há coincidência entre o objetivo de maior eficiência energética e de menor dano ao meio ambiente.

A diversificação das atividades nas economias industrializadas modernas contribuiu para que a demanda de energia resultasse da soma de um número muito grande de operações independentes, que são constantemente objeto de aperfeiçoamento e de intensas inovações tecnológicas. A rigorosa legislação que incide sobre a questão ambiental também é um estímulo para que eles encontrem novas respostas para suas limitações. Mas nos países em desenvolvimento que logram atingir bom ritmo de crescimento econômico, aumenta fortemente a necessidade de produção de bens e serviços per capita. Por maior que seja o esforço de absorção de tecnologias mais eficientes, a demanda total de energia, nesses países, tenderá a crescer, assim como a degradação ambiental (dadas as “frouxas” leis punitivas e regulatórias que recaem sobre os setores poluentes).

As inovações tecnológicas têm origem, em proporção esmagadora, nos países industrializados. São poucas as exceções como as de desenvolvimento, no Brasil, da produção do álcool para uso nos veículos automotores, da perfuração de poços de petróleo em águas profundas na plataforma continental, e dos aperfeiçoamentos genéticos e de cultivo do eucalipto e da cana-de-açúcar para a produção de biomassa. É natural, nesse sentido, que nem todos os esforços realizados em função de prioridades das instituições de pesquisa e das indústrias satisfaçam as prioridades e a capacidade econômica de cada um dos países em desenvolvimento. Associado a isso, as condições de transferência estabelecidas pelos países do mundo industrializado dificultam o acesso dos países em desenvolvimento às tecnologias por eles consideradas críticas ou inconvenientes (seja através de custos onerosos, ou proteção de qualquer natureza).

No processo de desenvolvimento tecnológico atual, os esforços dos grandes centros de irradiação têm empreendido três direções principais:

- a melhoria da qualidade dos combustíveis, do ponto de vista de sua contribuição potencial para a melhoria da qualidade do ar;
- a do melhor controle das emissões e do aumento da eficiência das instalações e equipamentos de produção, transformação e utilização da energia de origem térmica;
- a das tecnologias novas.

O conceito de “tecnologia nova” vem sendo aplicado, tanto para formas de captação, produção ou transformação de energia jamais antes utilizadas, quanto para outras conhecidas de longa data, mas apenas utilizadas em instalações rudimentares.

Entre essas últimas, a biomassa, a captação de irradiação solar e a força dos ventos estão sendo hoje objeto de utilização por equipamentos inovadores.

A célula de combustível se insere nesse contexto de fonte limpa e renovável de energia para o futuro. Na medida em que existe, atualmente, uma grande demanda por este tipo de recurso, justifica-se o estudo de novas tecnologias (como as células de combustível) que substituam (parcial ou totalmente) os combustíveis fósseis (fontes não-renováveis e causadores de significativos danos ambientais).

Apesar de, como toda inovação, o núcleo central de pesquisa e desenvolvimento dessa tecnologia se encontrar nos países mais avançados, há importantes e significativas iniciativas nacionais no setor, as quais vêm ganhando força, seja por parte de iniciativas privadas ou da parte do poder público. Por representar este um processo recente de aprimoramento tecnológico, entende-se como de igual relevância o estudo dessas iniciativas de financiamento de técnicas e áreas eficientes e economicamente viáveis de produção, operação e aplicação das células de combustível.

## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### ***2.1 A Energia no Brasil<sup>1</sup>***

O Brasil, diferentemente dos países industrializados, apresenta uma matriz energética em que mais de 60% da oferta de energia é proveniente de fontes renováveis, graças à estrutura predominantemente hidráulica do setor elétrico e ao fato de que quase metade da frota de automóveis utiliza o álcool como combustível, que também está presente na gasolina utilizada pela outra metade, numa proporção de 22%.

É sabido ser o Brasil um dos países que, relativamente, mais usa a biomassa como forma de energia renovável. Isso não ocorre somente em virtude do programa do álcool e do aproveitamento compulsório do bagaço da cana, resíduos das indústrias do açúcar e do álcool, mas também da queima de resíduos das indústrias da serraria, aglomerados e celulose, que utilizam a madeira como matéria-prima. Aproveita-se ainda a tradicional lenha de florestas naturais, regeneradas ou cultivadas (...). (Leite, 1997)

Historicamente, até 1975, os investimentos no setor energético brasileiro representaram cerca de 8 a 10% dos investimentos totais. A política de redução da dependência externa e o aumento da intensidade energética passaram a exigir maiores investimentos em energia. O ápice ocorreu em 1984, com os investimentos em energia representando 24% do total. Nos últimos anos os investimentos em energia voltaram a representar cerca de 8% a 9% dos investimentos totais.

Como resultado de uma política de redução da dependência externa de energia, principalmente a partir de 1979 - segundo grande aumento do preço internacional do petróleo - as importações líquidas deste produto e de seus derivados caíram. Ao final de 1999 os preços internacionais do petróleo voltaram a crescer, chegando a passar de 30 dólares por barril. Este fato, entretanto, foi atenuado pelo grande crescimento da produção interna de petróleo que redundou na redução da dependência externa para

---

<sup>1</sup> Este item está amplamente baseado em dados do Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2000.

34,6% (598 mil bep/dia). A participação dos derivados de petróleo no consumo final de energia foi de 33% em 1970, passou a 43% em 1979, retrocedeu a 31% em 1985 e, atualmente, encontra-se no patamar de 35%. A produção de gás natural mais que acompanhou a de petróleo - passou de 1,9 a 11,9 bilhões de m<sup>3</sup> no período 1979/99.

A hidreletricidade, a lenha e os produtos da cana-de-açúcar contribuem para uma alta participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira (57,7% da OIE – Oferta Interna de Energia). O Programa do Álcool, criado em 1975, representou o esforço de maior êxito no desenvolvimento de fontes renováveis para substituir derivados de petróleo, mediante o uso de álcool adicionado à gasolina e uso de álcool puro (cerca de 3,2 milhões de veículos utilizavam exclusivamente álcool como combustível, ao final de 1999).

O carvão mineral, o urânio (usado em apenas uma central nucleoeletrica de 657 MW) e o gás natural são recursos energéticos pouco utilizados na matriz energética brasileira. A partir de 1975, o carvão mineral de uso térmico foi incentivado e, também, contribuiu para a substituição de óleo combustível na indústria, principalmente, na indústria cimenteira. Atualmente, o setor de carvão está privatizado e compete em condições de mercado com os demais energéticos, no uso industrial.

No passado, as fontes de energia renováveis e não renováveis apresentaram taxas de crescimento relativamente próximas. Uma grande parte da produção de energia primária no país não é consumida diretamente e destina-se aos centros de transformação, onde a energia que entra, primária ou secundária, é convertida em uma ou mais formas de energia secundária (MCT, 2001).

Os maiores consumidores de energia final são os setores industrial, de transportes e residencial. As participações relativas dos setores residencial e agropecuário no consumo final de energia vêm decrescendo desde 1970, enquanto que as participações dos setores comercial e industrial tiveram um aumento expressivo, demonstrando o efeito do perfil da economia do país sobre a estrutura de consumo de energia. No caso do setor industrial, o aumento de seu consumo deve-se não apenas ao crescimento da sua produção econômica (efeito de atividade), mas também à introdução de indústrias energo-intensivas no país (efeito de estrutura), tais como as indústrias de alumínio, papel e celulose e siderurgia (MCT, 2001).

**Tabela 1 – Taxa Média Anual de Crescimento do Consumo de Energia no Brasil (por períodos, em percentagem)**

<i>Fontes</i>	<i>1915/30</i>	<i>1930/46</i>	<i>1946/55</i>	<i>1955/63</i>	<i>1963/72</i>	<i>1973/85</i>	<i>1985/94</i>
Carvão	4,3	-0,2	0,8	-1,0	5,6	11,8	1,1
Hidráulica	7,6	7,8	8,8	8,7	10,5	9,8	3,5
Petróleo	8,8	7,5	17,5	7,5	7,2	3,5	2,2
Total (exclusive lenha e cana-de-açúcar)	5,7	4,3	11,7	7,0	9,0	6,2	2,7
Lenha e cana-de-açúcar	—	—	0,0	5,6	—	—	—
Biomassa <sup>(a)</sup>	—	—	—	—	0,8	4,5	-0,9
Total (inclusive biomassa)	—	—	4,6 <sup>(b)</sup>	6,3 <sup>(b)</sup>	5,2	5,7	1,7

Fonte: Leite, 1997

Observações: (-) referem-se a dados não disponíveis.  
 (a) fontes de energia renováveis, como a lenha, força hidráulica, cana-de-açúcar, etc..  
 (b) referem-se ao Total geral.

**Tabela 2 – Evolução Anual do Consumo Final Energético por Fonte (em percentagem)**

<i>Fonte</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>
Gás natural	1,93	2,12	2,17	2,18	2,37
Carvão mineral	0,63	0,83	0,94	0,90	1,05
Lenha	6,48	6,09	5,76	5,75	5,81
Bagaço de cana	7,08	7,02	7,39	7,18	7,09
Eletricidade	38,62	38,53	38,57	39,02	39,49
Carvão vegetal	2,41	2,13	1,93	1,70	1,70
Álcool	3,66	3,60	3,27	3,15	3,12
Derivados de petróleo	33,96	34,64	35,22	35,55	35,10

Fonte: BEN, 2000

## **2.2 A Energia do Hidrogênio**

### **2.2.1 A célula de combustível no contexto da microenergia<sup>2</sup>**

Thomas Edison, ao criar sua primeira usina de calor e eletricidade em 1882, imaginou um mundo de microenergia, no qual as necessidades de energia seriam supridas através de redes de pequenas usinas instaladas em residências e escritórios, ou perto deles. Depois de, passado um século, as usinas e redes de transmissão terem ficado cada vez maiores, a geração local de energia volta a ser uma tendência (senão uma exigência).

Há vários motivos para isso: a liberalização do mercado, o movimento ambientalista, a exigência de energia confiável e ininterrupta. Essas três coisas estimularam a busca de tecnologias de geração de pequeno porte, limpas, confiáveis e, acima de tudo, de custo reduzido.

A célula de combustível representa o campo mais avançado do campo de desenvolvimento da microenergia.

Uma segunda tecnologia inovadora de microenergia (a microturbina), por sua vez, é muito apropriada para o gás natural. A quase ausência de peças móveis significa que as microturbinas têm baixo custo de operação e manutenção.

A terceira fonte de microenergia é o sol. Como as células de combustível, que foram inicialmente imaginadas na década de 1830, as células solares fotovoltaicas vêm sendo anunciadas como realidade há tempos. A vantagem das pequenas usinas de energia solar é o fato de serem limpas, confiáveis e, evidentemente, de o combustível vir de graça. Entretanto, o ponto negativo é que o equipamento custa caro.

Um motivo para se pensar que o mercado para a geração distribuída decolará mais de um século depois de seu primeiro florescimento, é o fato de seus custos terem caído para níveis econômicos. As tendências sugerem que declinarão ainda mais durante a próxima década, tornando a microenergia atraente para o consumidor comum no mundo rico. O maior potencial para a microenergia, contudo, pode estar no auxílio a 3

<sup>2</sup> Este subitem está baseado em Alvorecer, 2000.

bilhões de pessoas em países pobres que não contam com nenhum acesso confiável à eletricidade.

### 2.2.2 *Histórico e Características*<sup>3</sup>

Células de Combustível são sistemas eletroquímicos que convertem a energia química de um combustível ( $H_2$ ) e de um oxidante ( $O_2$  do ar) diretamente em energia elétrica, tendo como produto da reação basicamente o vapor d'água.

O início das pesquisas ocorreu a mais de 150 anos, por Sir William Grove. Em 1839, ele observou que quando o hidrogênio e o oxigênio eram supridos separadamente a dois eletrodos de platina imersos em solução de ácido sulfúrico, uma corrente elétrica era produzida em um circuito elétrico externo conectado aos eletrodos.

Em consequência do grande sucesso dos geradores eletromecânicos, o interesse pelos eletroquímicos ficou em recesso até a Segunda Guerra Mundial, quando se procurou desenvolver fontes de energia para a tecnologia de satélites. Enquanto a maioria dos trabalhos considerava a utilização do carvão como combustível, Bauer, em 1933, antecipou o que viria a ser o caminho mais eficiente: a utilização dos gases  $H_2$  e  $O_2$  em uma célula operando em meio alcalino.

Os anos 50 e 60 foram os que proporcionaram melhores condições ao desenvolvimento de novas tecnologias dentro dos programas espaciais dos países desenvolvidos (projeto Apollo, por exemplo), e os estudos das células de combustível foram especialmente beneficiados.

Na década de 70, um impulso maior foi dado com o agravamento do problema energético mundial, em particular, a crise do petróleo (a qual mobilizou a comunidade internacional); posteriormente, a preocupação com os níveis alarmantes de poluição ambiental trouxe à tona a conversão eletroquímica de energia. Com isso, as células de combustível começaram a ser estudadas e vistas, por suas vantagens e características, como um sistema viável para aplicações em larga escala.

As vantagens desse sistema são:

- Elevada eficiência;
- Modularidade (podem ser construídas em várias dimensões e configurações);
- Funcionamento limpo e silencioso;
- Rapidez de resposta de carga;
- Flexibilidade quanto ao uso de combustíveis;
- Grande capacidade energética (gera energia durante a locomoção do veículo);
- Fácil manutenção (não exige a grande quantidade de baterias dos carros elétricos).

No entanto, ele também apresenta desvantagens como o armazenamento do combustível (o hidrogênio é explosivo e ocupa muito espaço no caso dos veículos). Uma alternativa para isso seria um processador de combustível que, através de um processo de reforma, forneça um gás rico em hidrogênio para o funcionamento do sistema. Outra desvantagem seria representada pelos custos de desenvolvimento da tecnologia da célula de combustível.

São variadas as aplicações dessa tecnologia:

- Geração de eletricidade em pequena e média escala;
- Geração de eletricidade em estações remotas e de difícil acesso;
- Utilização de subprodutos em indústrias (cloro-soda, por exemplo);
- Aplicações em transportes (veículos);

---

<sup>3</sup> Subitem baseado em Caires.

- Aplicações espaciais;
- Telecomunicações (recentemente).

A pesquisa sobre células de combustível para uso automobilístico tem ganhado força, e tem apresentado resultados cada vez mais promissores. Para se ter idéia, um motor convencional abastecido com álcool tem eficiência termodinâmica entre 35% e 36%, enquanto o mesmo motor abastecido por célula de combustível a partir da extração do hidrogênio do álcool tem eficiência de até 65% (Franco, 2001).

O combustível da célula provém de três fontes atualmente pesquisadas: o hidrogênio puro (o ideal, mas de difícil armazenamento e altamente inflamável); os hidrocarbonetos derivados de petróleo (de baixo rendimento, preços crescentes e de difícil dissociação do hidrogênio); e o metanol, atualmente pesquisado no Hemisfério Norte (Figueiredo, 2000b). Por se tratar de uma tecnologia que emprega recursos naturais renováveis, pode ser um grande avanço para a engenharia brasileira (sobretudo para o setor sucroalcooleiro), se for colocada em circulação uma grande frota de veículos movidos a célula de combustível – abastecidas pelo “nosso” etanol, aproveitando, assim, a rede de distribuição já existente (Figueiredo, 2000a).

#### 2.4 *Atores Internacionais do novo mercado*<sup>4</sup>

O momento em que uma tecnologia experimental se torna uma tecnologia comercial é difícil de identificar, mas o novo interesse de importantes empresas do ramo petrolífero, automobilístico e de geração de energia elétrica, é um indício de que as células de combustível começam a se tornar alternativas interessantes.

A principal tecnologia do momento é a célula de combustível de membrana de troca de prótons (MTP). Nela, o eletrólito é uma membrana de polímero revestida de platina. A Ballard Power Systems, empresa canadense, é a principal proponente da tecnologia MTP, e o primeiro produto comercial da empresa será um gerador de um quilowatt para uso domiciliar (Alvorecer, 2000).

Uma concorrente da MTP é a célula de combustível de óxido sólido (conhecida pela sigla *SOFC*, em inglês). Apesar de as unidades *SOFC* terem de funcionar a temperaturas mais elevadas do que as células MTP, elas alcançam níveis de eficiência muito mais altos. A Siemens Westinghouse planeja introduzir a *SOFC* no mercado em 2004 (Alvorecer, 2000).

Uma terceira variação é a célula de combustível alcalina. Os fabricantes insistem que sua tecnologia custa menos, é mais fácil de ser executada e é mais prática do que as células *SOFC* ou MTP. Ao contrário da *SOFC*, as células alcalinas funcionam com temperaturas relativamente baixas, e, diferentemente das células MTP, não dependem de catalisadores de platina. A empresa britânica ZeTek Power lidera o desenvolvimento dessa tecnologia (Alvorecer, 2000).

Ainda que o mundo esteja ciente sobre a chegada da célula de combustível, há um certo choque de interesses entre grupos, como o das empresas automobilísticas e dos pesquisadores de células de combustível, que vêem o emprego direto do hidrogênio como o uso menos poluente da tecnologia, e do setor petrolífero, que se preocupa com o fato de que partir direto para o hidrogênio possa se revelar uma aventura cara e pouco prática.

---

<sup>4</sup> Item baseado em Idéias, 1999.

O primeiro impulso para essa nova tecnologia veio dos políticos. As montadoras começaram a levar as células de combustível a sério depois que a Califórnia decretou que, até o ano 2004, um décimo de todos os carros vendidos no Estado não poderão produzir emissões, sob o risco de serem impedidos de entrar no mercado. O decreto californiano foi uma bênção para a pesquisa das células de combustível, na medida em que surgiu a Parceria Californiana de Células de Combustível (*California Fuel Cell Partnership*) entre os fabricantes de automóveis, companhias de petróleo e companhias de célula de combustível. As empresas automobilísticas e as especializadas em células de combustível, como a Ballard, terão gastado cerca de US\$ 1,5 bilhão em Pesquisa e Desenvolvimento até o ano de 2002.

#### 2.4.1 Indústria Automobilística<sup>5</sup>

A DaimlerChrysler se considera líder no desenvolvimento desse sistema alternativo no ramo automotivo. Seu atual protótipo é o NECAR 5 (*New Electric Car*), que utiliza a plataforma do Mercedes-Benz Classe A, e extrai do metanol o hidrogênio para produzir eletricidade.

A Ford apresentou o FC5, considerado o mais avançado projeto de um automóvel que praticamente não emite gases poluentes, que deve chegar ao mercado em cinco anos, prazo suficiente para que as limitações atuais (peso e tamanho da célula de combustível) sejam superadas. Nesse modelo, o hidrogênio também é extraído do metanol.

Outras montadoras como a Volkswagen, Honda e General Motors também apostam na tecnologia do hidrogênio. No entanto, a BMW acredita que as células de combustível seriam muito úteis para gerar eletricidade para os equipamentos do veículo em substituição ao alternador, mas não há interesse em utilizá-la para alimentar um motor.

#### 2.4.2 Empresas Petrolíferas

“A Idade da Pedra não acabou porque faltaram pedras no mundo, e a Idade do Petróleo não acabará por falta de petróleo”. Quem disse isso foi Don Huberts, que está convencido de que as células de combustível vão em breve começar a substituir as centrais de geração de energia elétrica e os carros, que queimam principalmente carvão, petróleo ou gás natural. E, na qualidade de diretor da Shell Hydrogen, uma nova divisão da Royal Dutch/Shell, a convicção de Huberts reflete uma mudança drástica no pensamento dessas grandes empresas.

Bernie Bulkin, da British Petroleum, se preocupa com a possibilidade de, alguns anos depois de todos os preparativos para fornecer um combustível longe do ideal como o metanol, o setor descubra que tudo tem de ser mudado para fornecer hidrogênio. E algumas pessoas dedicadas ao desenvolvimento das células de combustível, como Rasul, da Ballard, acham que o desenvolvimento de combustíveis provisórios permitirá que as células de combustível ingressem no mercado ao mesmo tempo em que estiverem solucionados os problemas da armazenagem e distribuição de hidrogênio.

A Exxon, uma das maiores empresas petrolíferas do mundo, tem um ponto de vista distinto, e mostra-se há muito tempo indiferente para com as células de combustível. Mesmo assim, a empresa decidiu recentemente ingressar em parcerias de

---

<sup>5</sup> Subítem baseado em Células, 1999.

desenvolvimento de células de combustível com a General Motors e a Toyota. O consórcio está desenvolvendo carros à base de células de combustível que empregarão gasolina menos poluente, a ser distribuída em seus postos já operantes. A Exxon espera que isso deixará os consumidores mais preparados para aceitar a nova tecnologia.

#### *2.4.2 Empresas de Energia*

Duas forças estão ajudando as células de combustível na geração de energia elétrica. A desregulamentação energética, implementada na Europa e nos Estados Unidos, permite que novas empresas instalem fontes baratas e eficientes de energia elétrica (como células de combustível) perto do consumidor. Por outro lado, há uma proliferação de dispositivos eletrônicos nas residências e escritórios, que se beneficiarão da energia elétrica de alta qualidade prometida pelos geradores à base de células de combustível.

Barry Glickman, da GE Power Systems, afirmou que a geração de energia elétrica já está 'pegando carona nas reduções de custos das empresas automobilísticas'. Embora os primeiros produtos geradores já estejam no mercado, a maioria é cara e especializada. Dentro de dois anos, os consumidores poderão comprar a primeira célula de combustível no mercado de massas. A GE, trabalhando em conjunto com a Plug Power norte-americana, diz ter desenvolvido uma célula de combustível MTP do tamanho de uma máquina de lavar, concebida para fornecer energia elétrica e, posteriormente, calor para uma casa ou pequeno escritório. A empresa pretende começar a vender esses geradores em 2001 por US\$ 7.500 (preço previsto para reduzir-se à metade até 2005).

O principal executivo da Ballard, interpreta os números da GE como otimistas, mas concorda que o mercado final de geração de energia elétrica será gigantesco. John Loughhead, da Alstom, uma empresa francesa que é sócia da Ballard em geração de energia elétrica, considera que, se as células de combustível realmente deslancharem, poderão responder, daqui a 10 anos, por cerca de um décimo do mercado mundial de equipamentos de geração de energia, o qual movimenta US\$ 50 bilhões ao ano.

#### *2.5 Iniciativas Nacionais no Setor*

Nos Estados Unidos, o surgimento de uma fonte energética que possa trazer soluções de abastecimento (como é o caso da célula de combustível), recebe milhões de dólares de investimentos do Governo e da iniciativa privada para o desenvolvimento em escala industrial. No Brasil, ambos já começaram a fazer sua parte (Unitech, 2001).

Sérgio Lavieri Schleier, professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas (Unicamp), acredita que, com incentivos, entre três e cinco anos a tecnologia do hidrogênio poderia se tornar mais usual. A Universidade é sede do recém-criado Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH), e desenvolve um projeto em parceria com o Instituto Nacional de Tecnologia da Informação (ITI), para a produção de células que retiram o hidrogênio do etanol (Pinotti, 2001).

A Universidade de São Paulo (USP) mantém há 20 anos, no campus de São Carlos, pesquisa de células veiculares (para automóveis) e estacionárias (para residências). Um protótipo foi produzido, com potência de 100 watts. Também se procura uma forma de usar o etanol diretamente nas células, sem a necessidade de retirar o hidrogênio de combustível. Agora, os pesquisadores partem em busca de

verbas, em parceria com outras universidades, para tornar possível a produção de mais unidades. Uma verba no valor de R\$ 8 milhões foi requisitada ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), dentro do programa “Instituto do Milênio” (Pinotti, 2001).

Também na USP, há o Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (Cietec), que conta atualmente com 14 empresas. Destas, cinco já estão obtendo rendimentos e nove ainda não têm seus produtos prontos para o mercado e, portanto, não estão faturando (Centro, 2000).

A paulista Electrocell é um exemplo de uma dessas empresas encubadas. Ela é fruto da sociedade entre os criadores de outras duas incubadas: a Anodarc (especialista em revestimento em peças de alumínio), dos engenheiros Volkmar e Gerhard Ett; e a DCSsystem (que fazia sistemas *no-break*, de controle e suspensão), do também engenheiro Gilberto Janólio (Centro, 2000).

Dentre as várias propostas de investidores, há interessados em fazer parte da empresa (e das pesquisas sobre células de combustível), e não apenas investir e retirar o capital depois. A célula de combustível da Electrocell já está pronta. A empresa agora negocia seu fornecimento com diversos interessados, inclusive do setor automotivo, mas afirma que seu mercado potencial também gira em torno da substituição de geradores de energia muito comuns em hospitais e hotéis (Centro, 2000).

Um outro exemplo de iniciativa privada no setor é a Unitech Ltda., situada em Cajobi, na região de São José do Rio Preto. O gerador de energia elétrica à base de hidrogênio terá capacidade para 1 KW. O desenvolvimento da célula começou em 1998, quando a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) aprovou o projeto do químico Antonio César Ferreira. A maior preocupação do cientista foi desenvolver e dominar a tecnologia dos componentes, o que faz da célula um produto genuinamente nacional. Até agora, foram financiados R\$ 400 mil (Unitech, 2001).

A DMC2, maior fornecedora de catalisadores automotivos do mercado brasileiro, apresentou dois protótipos de uma célula de combustível em funcionamento. Segundo o gerente de tecnologia e aplicação industrial, Stephan Blumrich, a DMC2 já tem a célula, mas trabalha com outras empresas para desenvolver o restante do sistema, como controle de injeção, de temperatura, transformação, etc. (Pinotti, 2001).

A Petrobras vai seguir o exemplo das maiores companhias petrolíferas mundiais e começar a investir em fontes alternativas de energia. Para tanto, a estatal vai contar com a capacitação tecnológica de seu Centro de Desenvolvimento e Pesquisa (Cenpes), mais conhecido pelo desenvolvimento de tecnologias de exploração e produção de petróleo em águas profundas, que proporcionaram à estatal sucessivos recordes mundiais. A maneira como a Petrobras e o Cenpes vão trabalhar juntos em projetos de energia e quanto será investido ainda são objeto de discussão interna, no âmbito da diretoria da estatal. O primeiro passo, no entanto, será a geração de pelo menos 20% da energia consumida no complexo do Cenpes, na Ilha do Fundão, no Rio de Janeiro, por meio da célula de combustível (Pamplona, 2000).

A Empresa Metropolitana de Transporte Urbano de São Paulo (EMTU/SP), em conjunto com o Ministério de Minas e Energia (MME), e apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), iniciou em 2001 a Fase II do projeto “Estratégia Energético-Ambiental: Ônibus com Célula a Combustível Hidrogênio”. Ela consistirá na aquisição, operação e manutenção de oito ônibus com célula de combustível, mais a estação de produção de hidrogênio e abastecimento dos ônibus, além do acompanhamento e verificação do desempenho desses veículos (Ônibus, 2000).

O projeto brasileiro foi escolhido pelo PNUD em função de alguns aspectos – econômicos e ambientais – importantes. No campo econômico, foi levado em consideração o fato de ser a frota de ônibus da região metropolitana de São Paulo a de maior concentração no mundo, além de ser o Brasil o maior produtor e mercado mundial de ônibus. No âmbito ambiental, foram consideradas a amplitude de fontes de hidrogênio do país, e a gravidade do problema de poluição enfrentado pela cidade de São Paulo (Ônibus, 2000).

### *2.5.1 Os Fundos Setoriais e o financiamento da Pesquisa e Desenvolvimento no Brasil*

Os Fundos Setoriais datam do ano 2000, e representam um conjunto de medidas que visam a captação de recursos para o financiamento de projetos e programas de desenvolvimento científico e tecnológico de diversos setores econômicos. Sua criação tem origem no contexto do processo de privatização e desregulamentação das atividades de infra-estrutura no país. Somam-se, portanto, ao CTPetro (Plano Nacional de Ciência e Tecnologia do Setor de Gás Natural) que entrou em operação em 1999 (Fundos, 2001).

A aposta é de que eles estimularão a parceria entre universidades e empresas, além de cooperar para a redução das disparidades regionais de C&T (Ciência e Tecnologia). Os recursos para os fundos derivam basicamente de contribuições pagas pelas empresas em função dos processos de privatização e concessões (Recursos, 2000).

O Brasil já conta com oito fundos setoriais aprovados pelo Governo: petróleo e gás, recursos hídricos, energia elétrica, mineração, espacial, transporte, integração universidade-empresa e o de infra-estrutura. Eles possibilitarão a injeção de R\$ 600 milhões em 2001, e a previsão é de que esse montante chegue a R\$ 4,5 bilhões até 2005 (Fundos, 2001).

**Tabela 3 – Recursos empregados nos Fundos Setoriais (em R\$ milhões)**

<b>Fundo Setorial</b>	<b>2001</b>	<b>2001-2005</b>
Petróleo	150	900
Infra-estrutura	140	1.160
Energia	80	700
Transporte	8	120
Recursos Humanos	27	120
Mineral	3	20
Espacial	5	80
Universidade/Empresa	192	1.320
<b>Subtotal</b>	<b>605</b>	<b>4.420</b>

Fonte: Fundos, 2001.

### **3 - OBJETIVO**

Este estudo se destina a analisar, comparativamente, as experiências internacionais e nacionais de inserção da tecnologia da célula de combustível que, apesar de datar sua origem há mais de 150 anos, ganhou ênfase nos últimos tempos, na medida em que avançaram as limitações (ambientais e referentes ao volume e disponibilidade das reservas) quanto ao uso de combustíveis fósseis, principalmente pelos automóveis e indústrias.

A ênfase recairá sobre a análise da viabilidade econômica dos projetos – e sucessos obtidos pelos mesmos até o momento –, além do acompanhamento da evolução das fontes de financiamento da tecnologia empregada na produção dos componentes e operação das células de combustível.

### **4 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O tema deste estudo traz consigo uma limitação quanto às fontes bibliográficas, pela razão de ser muito recente. Nesse sentido, é importante destacar o fato de que o levantamento das bibliografias e informações necessárias para a pesquisa será realizado, basicamente, via meio eletrônico, periódicos e artigos de jornais.

O caminho metodológico consistirá:

- Na sua primeira etapa, na busca de maiores informações sobre as novas fontes alternativas de energia limpa e renovável, mais especificamente, sobre as células de combustível. Haverá uma ampliação dos dados inicialmente obtidos, no que tange às características e evoluções mais significativas das células de combustível. A atenção também recairá, nesta etapa, aos casos de empresas, iniciativas públicas e parcerias entre universidades e governo, ou universidades e empresas, que vêm apresentando destaque nas suas trajetórias (nacional e internacional) de pesquisa e desenvolvimento dessa nova tecnologia. As informações necessárias serão colhidas, principalmente, no jornal *A Gazeta Mercantil*, nos sítios internéticos dos Ministérios das Minas e Energia e da Ciência e Tecnologia, e, para dados internacionais, os sítios internéticos de algumas organizações (públicas ou privadas) especializadas em células de combustível (como, por exemplo, o *National Fuel Cell Research Center*, ou o *National Renewable Energy Laboratory*, ambos dos Estados Unidos). Concomitantemente, haverá o aprimoramento das informações sobre as iniciativas brasileiras de “nacionalização” dessa tecnologia, as quais buscam oferecer ao país uma maior variedade de fontes alternativas de energia, quiçá se somando às energias eólica e solar na construção de uma nova matriz energética no futuro. Para isso, utilizar-se-á os dados contidos nos relatórios de atividades das instituições (empresas e universidades), além de informações fornecidas por órgãos que acompanham o processo de desenvolvimento tecnológico nacional, tais como a FINEP, o IPEN, o IPEA, e a própria Fapesp.
- Num segundo momento, na ênfase à observação das principais tendências mundiais esperadas para os custos envolvidos na produção das células de combustível. Também aqui, serão utilizados os sítios internéticos de instituições internacionais e da imprensa

especializada (*Scientific American Newsletters, Fuel Cell Comercialization Group*, dentre outros).

▪ A terceira fase, consistirá na consulta, via entrevistas e questionários, de universidades, empresas e organismos públicos, envolvidos tanto com o desenvolvimento dos componentes, quanto com o financiamento da “tecnologia do hidrogênio”, com o intuito de tornar a base de dados mais primária, representativa e adequada aos objetivos propostos por este estudo. Os questionários serão elaborados baseando-se em informações obtidas a partir de outras pesquisas referentes a novas tecnologias do setor energético, bem como nos dados coletados nas diversas fontes pesquisadas. Tais questionários buscarão confirmar as tendências percebidas no decorrer do estudo.

## **5 – QUADRO DE ATIVIDADES E CRONOGRAMA**

As principais atividades a serem desenvolvidas estão resumidamente descritas no quadro abaixo:

Atividade	Descrição
Levantamento bibliográfico sobre estratégias de energias alternativas	Obtenção de informações sobre a participação e importância das novas fontes de energia na matriz energética brasileira
Levantamento bibliográfico sobre células de combustível	Busca contínua de novas informações sobre os progressos no desenvolvimento do mecanismo de operacionalidade e das novas áreas de utilização das células
Aprofundamento dos casos internacionais destacados	Estudo mais aprofundado das iniciativas governamentais, e das empresas e universidades estrangeiras no setor
Levantamento das tendências esperadas em relação ao custo de produção	Baseando-se nos relatórios de atividades das empresas e nos dados fornecidos por reportagens de jornais e periódicos, realizando também uma comparação com os custos de produção da energia eólica e do álcool combustível
Brasil: aprofundamento das iniciativas	Recolhimento de dados mais precisos sobre o esforço de P&D de cada instituição envolvida em projetos que envolvem as células de combustível
Aprofundamento dos casos nacionais destacados	Estudo mais aprofundado das iniciativas de empresas (Unitech e Electrocell), governo e universidades nacionais no setor
Entrevistas com universidades	Questionários que visam avaliar os reais progressos da atividade científica empenhada nessa nova tecnologia
Entrevistas com empresas	Questionários que visam avaliar os reais progressos da atividade tecnológica do setor
Entrevistas com organizações governamentais	Questionários que visam avaliar os progressos do processo de financiamento e incentivo à pesquisa e desenvolvimento de novas fontes energéticas
Participação em seminários de pesquisa	Preparação e participação em seminários que

	visam a análise e discussão das questões levantadas pela pesquisa
Consolidação dos resultados	Elaboração dos relatórios de atividade semestral e final (anual)

No cronograma abaixo, se encontra a distribuição das 80 horas mensais (em média) de dedicação às diferentes atividades da pesquisa, ao longo de cada um dos próximos 12 meses.

Atividade	Meses												Total
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
Levantamento bibliográfico sobre células de combustível	15	15	15	10	05				05	05	05	05	80
Levantamento bibliográfico sobre estratégias de energias alternativas	15	15	15	10	05				05	05	05	05	80
Aprofundamento dos casos das empresas destacadas	15	15	15	10	10				05	10	05	05	90
Aprofundamento dos casos nacionais destacados	15	15	15	10	10				05	10	05	05	90
Levantamento das tendências esperadas em relação ao custo de produção	05	05	05	15	20	15	10	15	10	20	20	05	145
Brasil: aprofundamento das iniciativas	05	05	05	15	20	15	10	10	10	20	20	05	140
Entrevistas com universidades							20	15	10				45
Entrevistas com empresas							20	15	10				45
Entrevistas com organizações governamentais							20	15	10				45
Participação em seminários de pesquisa	10	10	10	10	10	10		10	10	10	10		100
Consolidação dos resultados						40					10	50	100
	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	960

## **6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVORECER da microenergia. **Gazeta Mercantil**, 11 ago.2000. Seção Fim-de-semana. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Convenção sobre a mudança do clima, Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em: 20 out. 2001.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Balanço Energético Nacional, Brasília, 2000. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 15 nov. 2001.

CAIRES, Maria Isabel. Células a combustível: fundamentos científicos e tecnológicos. Disponível em: <<http://www.fiesp.org.br/boletim.nsf>>. Acesso em: 07 set. 2001.

CÉLULAS de combustível vão mover veículos no século XXI. **Gazeta Mercantil**, 19 nov. 1999. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

CENTRO abriga projetos que não faturam. **Gazeta Mercantil**, 26 dez.2000. p. A4. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

FIGUEIREDO, H. M. R. O futuro do álcool nacional. **Gazeta Mercantil**, Campo Grande, 21 set. 2000a. Página A2. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

\_\_\_\_\_. Uso de células de combustível. **Gazeta Mercantil**, Rio de Janeiro, 22 set. 2000b. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

FRANCO, Luciana. Usinas podem ampliar co-geração de energia. **Gazeta Mercantil**, Piracicaba, 18 jul.2001. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

FUNDOS setoriais aquecem área de C&T no país. Financiadora de estudos e projetos, 2001. Disponível em: <[http://www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/noticias/resultados.htm](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/noticias/resultados.htm)>. Acesso em: 20 out. 2001.

IDÉIAS visionárias viram realidade. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 02 ago. 1999. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

LEITE, Antonio Dias. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

MENDONÇA, Maurício. Fundos setoriais de desenvolvimento científico e tecnológico. Disponível em: <<http://www.governo-e.com.br/artigos>>. Acesso em: 20 out. 2001.

ÔNIBUS com célula a combustível hidrogênio. Empresa Metropolitana de Transporte Urbano de São Paulo, São Paulo, [2000?]. Disponível em: <<http://www.emtusp.com.br>>. Acesso em: 07 set. 2001.

O QUE são Fundos Setoriais. Financiadora de Estudos e Projetos, [2001?]. Disponível em: <[http://www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/entrada.htm](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/entrada.htm)>. Acesso em: 04 set. 2001.

PAMPLONA, Nicola. Petrobras amplia áreas de pesquisa. **Gazeta Mercantil**, Rio de Janeiro, 6 set.2000. p. A8. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

PINOTTI, Rodrigo. Hidrogênio poderia amenizar crise energética. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 11 jun.2001. Seção Grande São Paulo. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

RECURSOS para acertar o passo. Fundação de amparo à pesquisa do estado de São Paulo, São Paulo, [2001?]. Política Científica e Tecnológica. Disponível em: <<http://www.fapesp.b/política522.htm>>. Acesso em: 20 out. 2001.

UNITECH desenvolve célula de combustível para geração. **Gazeta Mercantil**, Ribeirão Preto, 21 jun.2001. Seção Interior Paulista. Disponível em: <<http://www.investnews.net/bngm>>. Acesso em: 20 out. 2001.