

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CAROLINA FERREIRA PINTO

*Em Busca de uma Arquitetura Sustentável:  
O Uso de Fontes Alternativas de Energia*

São Carlos  
2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



CAROLINA FERREIRA PINTO

Em Busca de uma Arquitetura Sustentável:  
O Uso de Fontes Alternativas de Energia

Dissertação apresentada ao Departamento de  
Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de  
São Carlos, Universidade de São Paulo, para obtenção  
do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração:  
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Paulo Sichieri

São Carlos  
2009

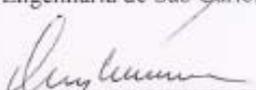
**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidata: Arquiteta e Urbanista CAROLINA FERREIRA PINTO.

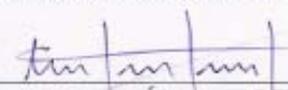
Dissertação defendida e julgada em 10/12/2009 perante a Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Titular **EDUALDO PAULO SICHIERI (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

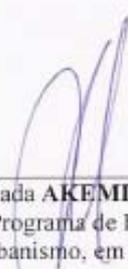
APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **OSNY PELLEGRINO FERREIRA**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **ANTONIO CÉSAR FERREIRA**  
(UNITECH Ltd. Grupo de Energia Cajobi)

APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associada **AKEMI INO**  
Vice - Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo, em exercício

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**  
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P659e Pinto, Carolina Ferreira  
Em busca de uma arquitetura sustentável : o uso de fontes alternativas de energia / Carolina Ferreira Pinto ; orientador Eduvaldo Paulo Sichieri. -- São Carlos, 2009.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Área de Concentração em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

1. Arquitetura sustentável. 2. Eficiência energética. 3. Fontes alternativas de energia. 4. Células a combustível. I. Título.

# DEDICATÓRIA

À natureza, que nos fornece tudo.

Aos meus queridos pais Marli e Acary, meu tio César, minha saudosa vó Maria e ao meu companheiro e amor Junior.

# AGRADECIMENTOS

Manifesto minha gratidão à todos que me ajudaram. De forma particular, menciono:

O Professor Dr. Eduvaldo Paulo Schieri, que acreditou e viabilizou esta pesquisa.

Os membros da Banca Examinadora, pela disposição e contribuição.

A Professora Rosana Caram, com quem tive meu primeiro contato na EESC.

A Capes, pelo fornecimento da Bolsa.

Os amigos que conheci durante o mestrado, em especial a Leila Pezzato.

O meu tio César que me iluminou e confiou esse brilhante assunto.

A minha vó Maria que tanto rezou por mim e por forças divinas não pode ver a conclusão deste trabalho.

O meu companheiro de todas as horas, que me ajudou em todas as fases desta pesquisa, meu amor Junior.

Em especial, agradeço ao meu pai e a minha mãe, que torceram por mim desde o início, me incentivando a fazer o mestrado e não medindo esforços para me ajudar a realizar esta pesquisa. Vale lembrar as viagens para São Carlos com minha mãe e das tardes quando estava escrevendo a dissertação com meu pai.

*“A natureza é capaz de satisfazer todas as necessidades do homem, mas não a sua ambição.”*

Mahatma Gandhi



PINTO, Carolina Ferreira. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável: O uso de Fontes Alternativas de Energia**. 2009. 223f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

## RESUMO

A atual situação de degradação ambiental tem sido muito discutida nos últimos anos. Um dos principais fatores agravantes dessa situação é a crescente demanda energética e suas atuais formas de produção. O petróleo, matriz energética mundial, é altamente poluente, e um combustível finito com o preço sempre crescente. A energia elétrica brasileira está baseada nas hidrelétricas, considerada fonte de energia limpa e renovável, porém o custo ambiental para sua construção é bem alto. Atualmente já existem tecnologias alternativas que podem servir essa crescente demanda energética sem prejudicar o meio ambiente.

Na arquitetura, como em todas as áreas, houve um aumento com preocupação, e o estudo sobre o desempenho energético das edificações para reduzir a demanda de energia se tornou um assunto em pauta. Medidas e soluções estão sendo tomadas na decisão dos projetos mais sustentáveis. Mas para isso, o profissional deve estar atento às novas tecnologias alternativas de produção e distribuição de energia. Quando em um projeto é considerado o uso de fontes alternativas e o uso de técnicas de iluminação e ventilação natural, pode-se economizar não só nas despesas direcionadas para as fornecedoras de energia, mas poupar recursos naturais, ajudando a preservar o meio ambiente, fundamental para a nossa sobrevivência.

Este trabalho traz algumas definições sobre sustentabilidade e a relação que a arquitetura tem com a problemática ambiental através da energia. Foi feita uma procura de novas tecnologias de produção e geração de energia e então, composto um “estado da arte” dos principais centros mundiais em P&D e dos projetos de demonstração envolvendo células à combustível, uma nova tecnologia que gera energia limpa *in loco*, descrevendo as características mais importantes destes projetos e compilando os resultados para uma possível adaptação aqui no Brasil, a fim de que diminua a participação das edificações no consumo de energia elétrica produzida a partir de hidrelétricas.

O objetivo desta pesquisa é contribuir com a disseminação do conhecimento sobre energias alternativas e renováveis no meio arquitetônico, e demonstrar os principais centros mundiais em P&D e os projetos de demonstração que envolvam a geração de energia limpa através das células à combustível para uma adaptação no contexto brasileiro. Os resultados dessa pesquisa foram a constatação de que em todos países desenvolvidos há um forte apoio governamental para introdução dessa nova tecnologia de geração de energia para possibilitar futuramente a “Economia do Hidrogênio”. A maioria dos projetos pesquisados são de células de tecnologia tipo PEM e abastecidas à gás natural (GN), pois esses países já possuem uma infra-estrutura formada para o GN.

No contexto brasileiro, o apoio governamental à essa nova tecnologia ainda é pouco, salvo o fomento de algumas instituições como FAPESP, CAPES, CNPQ e centros universitários. Esta ausência governamental deixa espaço para respostas a curto prazo às novas demandas de energia elétrica ocasionando o preenchimento com outros tipos de fontes de energia poluentes e fósseis como é o caso do aumento das termelétricas ultimamente.

**PALAVRAS CHAVE:** Arquitetura Sustentável, Eficiência Energética, Fontes Alternativas de Energia, Células a Combustível.

PINTO, Carolina Ferreira. **In Search of a Sustainable Architecture: The Use of Alternative Sources of Energy**. 2009. 223f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

## **ABSTRACT**

The current situation of environmental degradation has been much discussed in recent years. One of the main factors aggravating this situation is the growing energy demand and its current production methods most used. The oil, world energy matrix, is highly polluting fuel and a finite with the ever-increasing price. The Brazilian energy matrix is based on hydro, considered a clean and renewable source of energy, but the environmental cost and its construction are very high. Nowadays, there are alternative technologies that can serve this growing energy demand without harming the environment.

In architecture, as in all areas, there was an increase in concern, and the study on the energy performance of buildings to reduce energy demand has become a subject matter. Measures and solutions are being taken in deciding the projects more sustainable. But for this, the practitioner must be aware of new alternative technologies of production and distribution of energy. When a project is considered the use of alternative techniques and the use of natural lighting and ventilation, you can save not only the costs directed for energy providers, but save natural resources, helping to preserve the environment, essential for our survival.

This study offers some definitions of sustainability and the relationship that architecture has with the environment through energy. It was made a demand for new production technologies and power generation and then made a "state of the art world's main centers of R & D and demonstration projects involving fuel cells, describing the most important features of these projects and compiling the results for a possible adjustment in Brazil, in order to decrease the participation of the buildings in the consumption of electricity produced from hydropower plants in Brazil.

The research aims to contribute to the dissemination of knowledge on alternative and renewable energy among architectural and demonstrate the major world centers in R & D and demonstration projects involving the application of clean energy through fuel cells to adapt Brazilian context. The results of this research was the finding that in all developed countries there is strong government support for the introduction of this new technology to generate energy to enable a future "Hydrogen Economy". Most projects are cell PEM technology and supplied with natural gas because these countries already have an infrastructure set up to NG.

In the Brazilian context, government support to this new technology is still little, except the promotion of some institutions like FAPESP, CAPES, CNPq and universities. This government leaves no room for short-term responses to new demands for power resulting in filling other types of no clean energy clean and fuels such as increasing the thermal power plants.

**KEYWORDS:** Sustainable Architecture, Energy Efficiency, Alternative Energy, Fuel Cells.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Uso Residencial da Energia Elétrica.....	20
FIGURA 02 - Terra à noite.....	27
FIGURA 03 - Pessoas beneficiadas pelo programa Luz Para Todos.....	29
FIGURA 04 - Media Anual de Insolação em horas no país.....	46
FIGURA 05 - Sistema de receptor solar central de Barstow: campo heliostático....	47
FIGURA 06 - Corte transversal de uma Célula fotovoltaica.....	48
FIGURA 07 - Módulo fabricado pela empresa Siemens.....	48
FIGURA 08 – Biblioteca Pompeu de Fabra Mataró.....	49
FIGURA 09 - Fotos de edifícios com painéis solares.....	59
FIGURA 10 - Componentes do sistema fotovoltaico.....	51
FIGURA 11 - Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.....	52
FIGURA 12 - Turbina Eólica, aerogeradores.....	54
FIGURA 13 - Velocidade Média Anual a 50 m de altura no Brasil.....	57
FIGURA 14 - Construção do gasoduto Brasil – Bolívia.....	59
FIGURA 15 - Principais processos de conversão da biomassa em energéticos.....	61
FIGURA 16 - Eletrolise da água.....	67
FIGURA 17 - Eletrolisador do tipo filtro prensa modelo.....	68
FIGURA 18 - Principais componentes de um Eletrolisador.....	68
FIGURA 19 - Cilindros Esféricos de ligas de alumínio para armazenamento de hidrogênio.....	71
FIGURA 20 - Central de Armazenamento de hidrogênio líquido.....	72
FIGURA 21 - Hidrogênio armazenado na forma de hidreto metálico.....	72
FIGURA 22 - Produção mundial de hidrogênio.....	74
FIGURA 23 - Gráfico da Utilização das fontes de energias desde 1850.....	75
FIGURA 24 - Modelo de Substituição de Energia.....	76
FIGURA 25 - Funcionamento de uma Célula a Combustível.....	80
FIGURA 26 - Partes de uma célula a combustível.....	81
FIGURA 27 - Esquema de funcionamento do sistema Solar-hidrogênio.....	96
FIGURA 28 - Funcionamento do sistema em uma casa conectada à rede elétrica convencional.....	96

FIGURA 29 - Locais de instalação do programa <i>PAFC Demonstration</i> .....	104
FIGURA 30 -.Celula Espacial da NASA.....	109
FIGURA 31 Célula Espacial da NASA.....	110
FIGURA 32 - Célula da delegacia do Central Park, em Manhattan .....	111
FIGURA 33 - Subestação de <i>West Babylon</i> .....	112
FIGURA 34 - Ciclo da economia do hidrogênio.....	119
FIGURA 35 - Transporte do Hidrogênio.....	120
FIGURA 36 - Restaurante e Hotel <i>Wirt Im Feld</i> .....	124
FIGURA 37 - Hotel <i>Am Schloss Broich</i> de Mulheim.....	126
FIGURA 38 - Célula a combustível instalada no <i>Spa Bath</i> (banho público), em Mingolsheim.....	126
FIGURA 39 - O edifício que foi chamado de " <i>House of the Future, Prototype 1</i> ".	127
FIGURA 40 - Hospital de Gruenstadt.....	128
FIGURA 41 - Otto von Guericke-Universidade Hospital.....	129
Figura 42 - Fachada do Gabinete do Representante do Estado da Renânia do Norte- Vestefália.....	130
FIGURA 43 - Edifício onde foi instalada a célula.....	130
FIGURA 44 - Edifício onde foi instalada a célula.....	131
FIGURA 45 - Edifício onde foi instalada a célula.....	131
FIGURA 46 - Edifício onde foi instalada a célula.....	132
FIGURA 47 - Fachada do prédio administrativo da <i>Mülheimer Wohnungsbau AG</i> ..	132
FIGURA 48 - Edifício da RWE fuel cell.....	133
FIGURA 49 - <i>Garden City Rehabilitated Apartment Complex</i> .....	133
FIGURA 50 - Tanque de hidrogênio líquido.....	134
FIGURA 51 - Campo de teste da ENEL.....	136
FIGURA 52 - Campo de teste de CaC da Iberdrola.....	137
FIGURA 53 - Estaleiro de Izar.....	138
FIGURA 54 - Célula de 5 KW de potência instalada no CRES.....	139
FIGURA 55 - Célula SOFC de 5KW.....	141
FIGURA 56 - Edifício <i>GlashusEtt</i> .....	141
FIGURA 57 - Edifício <i>GlashusEtt</i> , fachada principal.....	142
FIGURA 58 – Célula Da Sulzer Hexis.....	143

FIGURA 59 - Empresa statoil na noruega.....	145
FIGURA 60 - Universidade de Liege.....	146
FIGURA 61 - Edifício de teste da <i>Gaz de France</i> .....	147
FIGURA 62 - Célula fabricada pela <i>H Power</i> .....	148
FIGURA 63 - Mapa da França com os lugares onde foram instaladas células a combustível.....	149
FIGURA 64 - Locais de instalações de CaC da <i>Electricité de France</i> .....	150
FIGURA 65 - Painéis solares no teto da residência.....	151
FIGURA 66 - Célula instalada no interior da casa.....	151
FIGURA 67 - Edifício na cidade de sarreguemines.....	152
FIGURA 68 - Edifício onde a CaC foi instalada.....	154
FIGURA 69 - Célula instalada no edifício.....	154
FIGURA 70 - Edifício da BMW.....	155
FIGURA 71 - <i>Energy Research Center of the Netherlands</i> .....	156
FIGURA 72 - Projeto da H2PIA.....	157
FIGURA 73 - <i>Keflavik International Airport</i> .....	159
FIGURA 74 - Edifício do <i>Hydrogen Office</i> .....	160
FIGURA 75 - Casa de estudante do campus da UTM.....	161
FIGURA 76 - <i>Hydrogen Village</i> – a “economia do hidrogênio”.....	162
FIGURA 77 - <i>Canadian Centre for Housing Technology</i> .....	163
FIGURA 78 - <i>PEI Wind-Hydrogen Village Projec</i> .....	165
FIGURA 79 - Turbinas eólicas existentes na PEI.....	166
FIGURA 80 - Casa de máquinas, turbina eólica e tanques de hidrogênio na PEI....	166
FIGURA 81 - <i>Hotel Sheraton San Diego</i> .....	167
FIGURA 82 - As quatro CaCs instaladas no hotel <i>Sheraton San Diego</i> .....	168
FIGURA 83 - NEXTHOUSE.....	169
FIGURa 84 - Fachada da <i>Solar-Hydrogen Home</i> .....	170
FIGURA 85 - <i>Solar-Hydrogen Home</i> durante o inverno.....	171
FIGURA 86 - Eletrolisador e painéis solares.....	171
FIGURA 87 - Tanques de hidrogênio.....	172
FIGURA 88 - Restaurante <i>McDonald's</i> .....	173
FIGURA 89 - Projeto " <i>Green Machine/Blue Space</i> ".....	174

FIGURA 90 - Tanques de hidrogênio.....	175
FIGURA 91 - Escritório da Szencorp.....	176
FIGURA 92 - Nagoya Sakae Washington Hotel Plaza.....	177
FIGURA 93 - Edifício do GEC.....	178
FIGURA 94 - Painéis solares e célula do edifício da GEC, Japão.....	178
FIGURA 95 - Next21 Experimental Condominium.....	179
FIGURA 96 - Célula do hospital Erasto Gaertner.....	181
FIGURA 97 - Célula da Copel.....	181
FIGURA 98 - Célula da LACTEC.....	181
FIGURA 99 - Ônibus à hidrogênio.....	182
FIGURA 100 – Células da empresa UNITECH.....	185

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Principais Fontes de Problemas Ambientais.....	19
TABELA 02 - Capacidade instalada mundial de energia eólica.....	56
TABELA 03 - Características das Células a Combustível.....	88
TABELA 04 - Mercado previsto para células a combustível.....	93
TABELA 05 - Local, fabricante, combustível e potencia das CaCs instaladas no ano de 2001 pelo DOD.....	105
TABELA 06 - CaCs estacionárias instaladas na Califórnia.....	116
TABELA 07 - Projetos brasileiros com células a combustível para geração estacionária.....	186

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - Resumo dos principais compromissos e metas firmados no Protocolo de Kioto..... 11

QUADRO 02 - Consumo energético através da História do Homem..... 18

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica.....	30
GRÁFICO 02 - Estrutura da Oferta de Energia Elétrica Segundo a Natureza da Fonte Primária de Geração no Mundo em 2006.....	32
GRÁFICO 03 - Estrutura de Participação das Fontes Renováveis e Não Renováveis.....	38
GRÁFICO 04 - Gás natural e sua depreciação.....	188

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	20
2. OBJETIVOS .....	23
3. A ARQUITETURA FRENTE À PROBLEMÁTICA AMBIENTAL .....	24
3.1. Sustentabilidade .....	24
3.2. Sustentabilidade e Arquitetura .....	27
3.3. Arquitetura e Energia .....	33
4. A REDUÇÃO DA DEMANDA: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	38
4.1. Definições de Eficiência Energética .....	38
4.2. Panorama Energético do Brasil e do Mundo .....	42
4.3. Sistemas de Avaliação Ambiental .....	49
5. A QUALIFICAÇÃO DA OFERTA: ENERGIAS ALTERNATIVAS .....	53
5.1. Geração de Energia Distribuída .....	54
5.2. Cogeração.....	58
5.3. Energia Solar.....	59
5.4. Energia Eólica .....	69
5.5. Gás Natural .....	73
5.6. Etanol .....	75
5.7. Hidrogênio.....	79
5.7.1. Histórico .....	80
5.7.2. Propriedades Físicas .....	81
5.7.3. Fontes de Hidrogênio.....	82
5.7.4. Eletrólise da Água .....	85
5.7.5. Armazenamento .....	89
5.7.6. Segurança .....	92
5.7.7. Considerações Finais sobre o Hidrogênio.....	93
5.8. Célula à Combustível .....	97
5.8.1. Histórico .....	97
5.8.2. Funcionamento.....	98
5.8.3. Tipos de Célula à Combustível.....	101
5.8.4. Aplicações .....	107
5.8.5. Benefícios das Aplicações.....	109
5.8.6. Mercado Previsto para as Células à Combustível.....	111
5.9. Funcionamento de um Sistema Solar/Hidrogênio/Célula Combustível ....	114
6. PRINCIPAIS ENTIDADES E PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS DO MUNDO ....	118
6.1. Departamento de Energia dos Estados Unidos – DOE .....	118
6.1.1. Programas do DOE.....	120
6.2. Departamento de Defesa dos Estados Unidos – DOD .....	122
6.3. Outras Entidades e Programas Governamentais nos EUA.....	126
6.4. Programas de desenvolvimento de Células à Combustível no Japão ....	134

7. DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PROJETOS NO MUNDO .....	139
7.1. PROJETOS DA EUROPA .....	139
7.1.1. Áustria.....	141
7.1.2. Alemanha.....	142
7.1.3. Itália.....	152
7.1.4. Espanha .....	153
7.1.5. Portugal.....	155
7.1.6. Grécia .....	156
7.1.7. Suécia .....	157
7.1.8. Suíça.....	159
7.1.9. Noruega.....	160
7.1.10. Finlândia .....	162
7.1.11. Bélgica .....	162
7.1.12. França .....	163
7.1.13. Holanda .....	170
7.1.14. Dinamarca.....	173
7.1.15. Islândia .....	175
7.1.16. Reino unido.....	176
7.2. PROJETOS DOS ESTADOS UNIDOS E CANADÁ.....	177
7.2.1. Canadá .....	177
7.2.2. Estados Unidos da América.....	183
7.3. PROJETOS DA ÁSIA E OCEANIA .....	191
7.3.1. Austrália.....	191
7.3.2. Japão .....	193
7.4. PROJETOS NO BRASIL .....	195
8. CONCLUSÕES .....	203
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	209

## I. INTRODUÇÃO

A atual situação de degradação ambiental tem sido muito discutida nos últimos anos. A crise do petróleo ocorrida em 1973 abalou o modelo elétrico europeu e americano, baseado nas termoelétricas (grandes poluidoras e empecilho para o cumprimento das metas do Protocolo de Kyoto). A partir desse momento iniciou-se uma busca de soluções para resolver questões ligadas a energia.

A falta de envolvimento do Brasil nessa questão era o fato de que a demanda elétrica está baseada em hidroelétricas (80%) até então eficientes, mas com o “apagão” em 2001 ficou clara a necessidade de expansão do potencial elétrico instalado nacionalmente para atender a crescente demanda. Apesar de ser uma fonte limpa e renovável de energia, as hidroelétricas geram grandes impactos ambientais e sociais, tem alto custo, e ainda existiu a perda de energia nas extensas linhas de transmissão.

Depois da crise de 2001 ficou evidente que assuntos envolvendo o tema conservação e uso racional de energia tornaram-se um problema a ser resolvido em nosso país. Na arquitetura as medidas para reduzir a demanda de energia passaram a ser praticadas, pois o consumo de energia elétrica entre as edificações é relativamente alto (45%) e destes, 22% destinados às residências. O estudo sobre o desempenho energético das edificações começou a constar nos cursos de arquitetura e houve o aumento da preocupação entre os projetistas.

O aumento do consumo de energia elétrica implica obrigatoriamente no aumento da potência instalada de geração. Este aumento representa um custo elevado, tanto ambiental quanto em investimentos em equipamentos, se atendidos pelas fontes atuais de energia. (FURLANETTO; POSSAMAI, 2001).

Estes valores são significativos e mostram a importância de se traçar um perfil dos hábitos e costumes de uso da eletricidade nos edifícios. Fica claro também a necessidade de uma tomada de atitude no sentido de conscientizar a população para o uso racional da energia elétrica no ambiente residencial.

A responsabilidade da arquitetura frente ao meio ambiente impõe é portanto, o desafio de projetar e construir edifícios que consumam menos materiais, água e energia que os atuais. Quando em um projeto é considerado o uso de fontes de energia renováveis e o uso da iluminação e ventilação natural, pode-se economizar não só nas despesas direcionadas para as fornecedoras de energia, mas poupar recursos naturais, ajudando a preservar o meio ambiente, fundamental para a nossa sobrevivência.

Para isso é necessário que os arquitetos e profissionais da área tenham acesso ao conhecimento de elementos externos aos comumente expostos para tomarem decisões conscientes em seus projetos. Novos conceitos estão sendo empregados para atender a crescente demanda energética sem comprometer o meio ambiente como o uso de fontes alternativas de energia e a energia descentralizada ou distribuída. Portanto, na arquitetura os projetos devem ser desenvolvidos se adequando a esses novos conceitos de produção e distribuição de energia elétrica.

No leque das alternativas foi dada a importância para o uso das células a combustível, uma nova tecnologia que pode gerar a energia necessária *in loco*, e ainda possibilitar a introdução de uma nova e próspera matriz energética: o hidrogênio, este considerado entre a maioria dos países desenvolvidos como o “combustível do futuro”.

Foi composto um “estado da arte” da aplicação dessa nova tecnologia em vários países e no Brasil e apontado como esta nova maneira de geração e distribuição de energia pode afetar no processo projetual da arquitetura. Os países escolhidos para serem pesquisados foram aqueles que se encontram em maior estágio de desenvolvimento na área dessa nova tecnologia. Foram levados em conta quesitos como: principais centros de

pesquisa em cada país, financiamentos, tipo de tecnologia e potência da célula, fonte primária utilizada, tipologia do local.

No capítulo 3, onde se inicia a revisão bibliográfica, foi relacionado o problema ambiental mundial, com a esfera da arquitetura, até onde esse problema invade o universo arquitetônico. Primeiramente foi feito um resumo das definições sobre sustentabilidade, elegendo os eventos mais importantes nas últimas décadas sobre o tema. Depois a relação da sustentabilidade com a arquitetura, a chamada Arquitetura Sustentável e suas definições atuais. E por último, já no universo da energética a relação da arquitetura com a energia e suas definições.

No capítulo 4 são apresentadas algumas soluções para reduzir a demanda energética, combatendo o desperdício. São apontadas as definições do conceito Eficiência Energética aplicada nas edificações, e um panorama da situação energética do país e do mundo, demonstrando dados atuais sobre o balanço energético, a matriz energética brasileira e mundial, e um breve histórico do sistema energético brasileiro. Apresenta alguns programas do governo brasileiro para combater a exclusão energética. Depois são apresentados os principais sistemas mundiais de avaliação ambiental para edifícios, que funcionam como um certificado, aqui no país semelhante ao PROCEL com os eletrodomésticos.

No capítulo 5 é feita uma revisão das principais fontes de energia alternativa, que caracterizam a qualificação da oferta energética; e apresentada às definições de Energia Distribuída e Cogeração. As fontes alternativas pesquisadas foram eleitas porque servem de combustível (energia primária) para a célula combustível gerar energia e todas têm um grande potencial brasileiro, dentre elas são: a Energia Solar, Eólica, Etanol, Gás natural e o hidrogênio; ainda foi introduzido os conceitos da “Economia do Hidrogênio” possibilitado através das células à combustível.

No capítulo 6 são descritos as principais Entidades Governamentais mundiais e seus programas que apoiam a introdução das células combustíveis como facilitador da Economia

do Hidrogênio. No capítulo 7 são identificados os principais projetos de células a combustível, nos países que estão mais avançados nessa nova tecnologia. Cada projeto identificado traz as principais características, como tamanho da célula utilizada, tipo de combustível, tipo de tecnologia de célula, tipo de financiamento, etc.

## 2. OBJETIVOS

A pesquisa tem como objetivo geral compor um “estado da arte” dos principais centros mundiais em P&D e dos projetos envolvendo a geração de energia limpa através das células à combustível, e contribuir com a disseminação do conhecimento sobre energias alternativas e renováveis, a fim de que diminua a participação das edificações no consumo de energia elétrica produzida a partir de hidrelétricas no Brasil.

O trabalho tem como objetivo específico localizar os projetos de demonstração de aplicação de células a combustível nos países mais desenvolvidos nessa tecnologia, descrevendo as características mais importantes destes projetos tal como, tamanho da célula, potência, tecnologia empregada, combustível utilizado, tipo de financiamento; compilando os resultados para uma possível adaptação aqui no Brasil, contribuindo para eleger novos paradigmas na promoção de projetos sustentáveis no campo da arquitetura.

### 3. A ARQUITETURA FRENTE À PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

#### 3.1. Sustentabilidade

O alto crescimento populacional somado ao desenvolvimento de tecnologias voltadas para o consumo tem levado a atual situação de degradação ambiental. A necessidade de água, alimentos e principalmente a demanda energética e a poluição causada para sua produção, tem agravado ainda mais essa situação.

Desde a revolução industrial até os dias atuais a busca desenfreada pelo aumento do capital colocou de lado a questão ambiental. A preocupação em aumentar os mercados consumidores e o desenvolvimento econômico é o alvo de todas as nações. Os impactos desse modo de desenvolvimento atingiram o meio ambiente de forma prejudicial, e logo surgiu a necessidade de reverter esse quadro, pois a sobrevivência humana depende de outro modo de existência terrestre, o modo de desenvolvimento sustentável.

Segundo o Relatório de Brundtland (1987): “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”.

A primeira discussão sobre o meio ambiente aconteceu no Clube de Roma em 1968, e no relatório do *Massachusetts Institute Of Technology* em 1970. O tema ambiental foi colocado em maior destaque e como limitador e condicionador do crescimento econômico e do uso dos recursos naturais, pela primeira vez na Declaração de Estocolmo, durante a Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano em 1972. O objetivo da declaração é nortear o crescimento econômico com o estabelecimento de princípios e perspectivas para preservação e melhoria do meio ambiente.

Desde então assuntos relacionados com a preservação do meio ambiente tornaram-se vigentes entre as sociedades mundiais. Em 1987 a Organização das Nações Unidas

(ONU) criou a comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento que foi sediada na Noruega pela primeira ministra Gro Harlem Brundtland. O relatório produto dessa comissão intitulado “Nosso Futuro Comum” conhecido como Relatório Brundtland trazia de forma mais sistêmica uma lista de medidas para o qual os Estados deveriam adotar um crescimento econômico com igualdade social e preservação ambiental. Era o manifesto para a perpetuação das espécies (GIANSANTI, 1998).

A mesma comissão que elaborou o relatório de Brundtland realizou em 1992 no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e desenvolvimento Humano, que ficou conhecida como ECO-92. Dentro dos produtos dessa conferência foi elaborada a Agenda 21 que consiste em um documento assinado por 170 países (inclusive o Brasil), que se comprometem em assegurar o desenvolvimento econômico, social e urbano sustentável do planeta juntamente com a proteção ao meio ambiente, ressaltando a importância de ações imediatas para o combate a destruição do meio ambiente.

A partir da década de 1990 várias iniciativas como, por exemplo, Eco-92, Conferência do Clima em Berlim 95, Genebra em 96, Kioto 97, África do Sul 2002, foram tomadas para apresentar propostas e iniciativas para reverter o quadro da crise ambiental.

Uma importante iniciativa é o Protocolo de Kioto de 1997, tratado internacional que tem o compromisso de redução dos gases causadores do efeito estufa. Apesar da urgência da solução da crise ambiental, ainda encontra-se relutâncias de certos países que colocam questões econômicas acima da preocupação com meio ambiente. Os EUA, por exemplo, não ratificaram o protocolo, apesar de possuir o maior índice de emissão de carbono do mundo (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2009). Porém é um dos principais países que pesquisam e desenvolvem fontes de energia alternativas.

O Quadro 01 a seguir mostra um resumo básico das principais diretrizes estabelecidas nos artigos do Protocolo de Kyoto, que foram pactuadas entre os países participantes.

Diretrizes	Metas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar a eficiência energética nos setores relevantes da economia de cada país</li> <li>• Garantir a proteção e o aumento de sorvedouros e reservatórios de GHG</li> <li>• Promover práticas de gerenciamento sustentável de florestas</li> <li>• Promover métodos sustentáveis de agricultura</li> <li>• Estimular a pesquisa, desenvolvimento, promoção e aumento do uso de fontes de energia renováveis</li> <li>• Garantir a redução progressiva de incentivos e subsídios em todos os setores emissores de GHG</li> <li>• Encorajar reformas, políticas e medidas para limitar ou reduzir emissões de GHG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir as emissões de GHG para 5% abaixo dos níveis observados em 1990 no período de compromisso: 2008 a 2012.</li> <li>• Mostrar, em 2005, progressos demonstráveis dos compromissos assumidos no Protocolo de Kyoto</li> </ul>

**Quadro 01.** Resumo dos principais compromissos e metas firmados no Protocolo de Kyoto.

**Fonte:** Elaboração própria.

Do ponto de vista energético e ambiental, o Protocolo de Kyoto representa um referencial para o desenvolvimento das fontes renováveis de energia e a sua utilização em larga escala no mundo, através do estabelecimento de compromissos ambientais que fomentam políticas de desenvolvimento sustentável nos principais países desenvolvidos do mundo. Apesar do não cumprimento de certas resoluções, e da não participação de alguns países, é imprescindível a ocorrência de conferências mundiais, para criar parâmetros que norteiem as decisões que se deve tomar para a permanência das espécies no planeta.

O desenvolvimento sustentável é um tema que requer o envolvimento de todas as esferas de nossa sociedade, desde o poder público às iniciativas privadas, além de tomadas de decisões globais, regionais e até individuais.

### 3.2. Sustentabilidade e Arquitetura

A atual situação de escassez dos recursos naturais exige uma nova postura em todas as esferas profissionais, inclusive a do arquiteto. Se antes esses elementos (condicionantes ambientais) eram aparentemente estranhos aos conceitos arquitetônicos agora se fazem imprescindíveis. Segundo Zanettini (2000, p.4)

[...] “a arquitetura não mais se limitando a tomar como sua área de domínio a questão do espaço e da estética da forma. A necessidade crescente, que a realidade vem impondo, de mudar de dimensão no seu enfoque com uma abordagem sistêmica da cultura material como também das formas de produção material, no atendimento às novas demandas e necessidades individuais e coletivas”.

A esfera da arquitetura que antes se importava mais com a estética e funcionalidade agora deve se estender para atender aspectos ligados a questão ecológica e incorporar referenciais mais sustentáveis. Se antes as proporções arquitetônicas atingiam o edifício e seu entorno imediato, agora devem ter um pensamento global e invadir outros campos de conhecimento. Para Zanettini (2000 p. 4)

“Esse aumento de complexidade de seu conhecimento e de seu trato vem exigindo uma crescente contribuição interdisciplinar de variadas áreas de especialidade e colaboração cada vez mais ampla de inúmeros intervenientes”.

A revisão de assuntos fora do escopo arquitetônico para realização de projetos mais sustentáveis deve ser contemplada. Algumas diretrizes para fazer uma arquitetura ambientalmente correta e sustentável são apontadas no artigo de Del Carlo (2001):

[...] “Projetar edifícios que utilizem energias renováveis: utilização de sistemas para aquecimento da água, para iluminação e energia fotovoltaicos, aproveitamento ao máximo da iluminação natural, com a prévia observação da orientação mais adequada”.

No entanto, a proliferação do termo “Sustentabilidade” invadiu o espaço da arquitetura também. Este termo acabou caindo em lugar comum, sendo utilizado para tudo e significando o que for mais conveniente. Derivações deste termo acabaram sendo incorporadas no vocabulário da Arquitetura como: Arquitetura Verde, Arquitetura

Bioclimática, Arquitetura Ecológica, entre outros. Sem nenhum consenso, estes termos são utilizados constantemente trazendo ainda mais incertezas ao conceito em si (COOK, 2001, p. 37).

De acordo com Guy (1997, p. 6) argumenta que não existe uma definição conclusiva para arquitetura sustentável além de um leque de abordagens inovadoras de projeto as quais “explícita ou subliminarmente referenciam a si mesmas em relação à natureza”. Nesse sentido, Guy (1997, p. 6) sugere que se abandone “a busca por uma definição verdadeira ou incontestável de edifício ecológico”, e que se trate o conceito em um sentido relativo, ao invés de absoluto. O autor propõe, assim, que se considere o conceito de edifício ecológico como uma construção social.

A maioria dos conceitos relacionados à arquitetura sustentável remete que esse termo tem por princípios a integração do projeto arquitetônico com seu entorno, através do uso e técnicas locais, redução de energia para construir e manter a edificação, uso de energias renováveis e alternativas e diminuição dos impactos gerados na natureza. Nesse contexto são levados em conta fatores como: posição solar, ventos predominantes, estudo do local (declive, clima, etc.) para escolha da forma do edifício, materiais, destino dos resíduos e reaproveitamento das águas.

Principalmente nas últimas décadas houve um abandono dessa preocupação local, pois a arquitetura se tornou “universal” devido à globalização. A “transposição arquitetônica” (geralmente dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento) tornou os nossos edifícios verdadeiras estufas, pois o clima dos países subequatoriais é o oposto dos subtropicais.

Olgay e Olgay (1963) utilizam a expressão “arquitetura em equilíbrio com o clima” (*climate-balanced architecture*) para designar a prática arquitetônica fundamentada nesse princípio e nesses termos, pode-se afirmar que hoje, a arquitetura para ser sustentável deve, em princípio, manter o equilíbrio com o clima.

Seria injustificável não levar em conta em um projeto fatores como o aproveitamento da ventilação e iluminação natural em locais onde há um grande potencial de luz solar e ventos, podendo minimizar o gasto de energia com sistemas de refrigeração ou iluminação artificial.

Para Jeffrey Cook a principal tarefa dos profissionais ligados à construção neste momento, onde a interferência do Homem na natureza tornou-se insustentável, reside não só nos aspectos funcionais, bioclimáticos e operacionais das edificações, mas principalmente no desafio de implantar um novo modo de vida. Cabe aos profissionais contribuições não só quanto aos aspectos ambientais, mas principalmente quanto aos sociais. Esta “nova arquitetura” só será viável com base de novos paradigmas: “A edificação sustentável representa uma revolução em como pensamos o projeto, a construção e a sua utilização.” (COOK, 2001, p. 41).

Kean Yeang observa que esta “arquitetura verde” ou “ecológica” deve não só minimizar os impactos da natureza, mas principalmente criar efeitos positivos no meio ambiente, integrando-o aos ciclos naturais da biosfera, ou seja, sendo elemento gerador de benefícios ao meio em questão. Segundo o autor estamos na infância da “arquitetura ecológica”, com muitas barreiras a serem vencidas.

Esse conceito se baseia na definição de Ecologia, que em sentido mais amplo é: o conjunto de todas as interações dos seres vivos uns com os outros e com o ambiente no qual eles vivem. Ou seja, a Eco-arquitetura considera a edificação como parte da ecologia do planeta e do habitat vivo. Dessa maneira o edifício deve estar em perfeita sintonia com seu meio ambiente natural, causar o menor impacto ambiental possível e preservar os recursos naturais. Essa edificação deve se relacionar principalmente com seus aspectos naturais característicos da região – clima, materiais e recursos naturais (água, solo, rochas, energia e vegetação). Para isso são necessárias tecnologias adequadas, como por exemplo: **economia de uso da água** (como captação de água de chuva); **uso e produção de energia renovável** (como energia solar ou biomassa); **preservação de espécies**

**vegetais nativas; uso de materiais ecologicamente corretos** (por exemplo, madeiras certificadas); **uso de materiais reciclados da região** e se possível **reciclar os dejetos** produzidos pelo edifício. Técnicas construtivas e materiais naturais também estão dentro dos objetivos da Eco-Arquitetura. Bons exemplos o Telhado Verde – Uma forma de integração com a natureza. Causa pouco impacto a paisagem, é isolante térmico e ainda tem a possibilidade de captação de água de chuva.

Para Corbella (2003, p. 16) “a Arquitetura Sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-la parte de um conjunto maior”.

A Arquitetura Sustentável se orienta diretamente pelo Desenvolvimento Sustentável e deve se fundamentar nas mesmas prioridades. Dessa maneira, uma boa referencia é o documento Agenda 21 para a Construção Sustentável, onde se estabelece que os desafios agora, além de ecológicos, também são atingir gradativamente as metas que se incluem nas dimensões socioculturais na arquitetura e também deve se adequar às necessidades, prioridades e características de cada lugar.

Com o uso da eficiência energética, conservação de energia, redução do uso de água, seleção de materiais com bom desempenho ambiental e minimização do impacto ambiental causado pelo edifício contribuem para a sustentabilidade, porém devem se incluir parâmetros sócios culturais para atingir a Sustentabilidade.

Através da Arquitetura deve-se pensar a igualdade social, a preservação da cultura e tradições locais, a acessibilidade e o desenvolvimento local. Além disso, essa Arquitetura se preocupa com todo o ciclo de vida do edifício: desde onde vem o material empregado na construção, como esse material chega ao canteiro de obras, todo o processo da obra, até as atividades que devem acontecer dentro do edifício, posteriores à sua construção.

De maneira geral é a união de técnicas vernáculas com o conhecimento científico. Isso não quer dizer retroceder e negar as tecnologias atuais, e sim relacionar aspectos

globais e locais. Enfim é responder às metas e desafios do Desenvolvimento Sustentável através do Habitat humano.

Observa-se que a arquitetura sempre esteve relacionada com as questões climáticas, conforme observa Romero (1997, p. 1.6)

[...] “se houve a necessidade de caracterizar uma arquitetura ‘bioclimática’, pressupõe-se que existe uma arquitetura ‘não bioclimática’. Porém, será que é este o caminho adequado às condicionantes climáticas e geomorfológicas do sítio onde está inserida? Certamente que não”.

A definição que alguns autores apresentam para a expressão “arquitetura bioclimática” a faz também convergir para essa perspectiva de projeto. Não deveria ser problema para a arquitetura sua adequação quanto ao desempenho passivo, conforme argumenta Romero, 1997

“A proposta da arquitetura e sua função mais básica e rudimentar é a função de “abrigo” e associada a ela está a minimização das condições climáticas exteriores, e desta forma a arquitetura é por si só “bioclimática” [...] a utilização de técnicas passivas nada mais é do que diretrizes regionais e climáticas para os edifícios”.

Para alguns arquitetos a Construção Bioclimática se preocupa mais especificamente com conforto ambiental interno e eficiência energética, que devem ser alcançados através de estratégias naturais, aproveitando ao máximo os recursos naturais de seu entorno de forma racional.

Partindo desse princípio as principais estratégias podem ser: **orientação solar:** demonstram as “trajetórias solares”, quais zonas de recepção de mais e menos radiação solar, luz do céu e luz do Sol, permitindo projetar os desenhos de aberturas e janelas, cores e materiais adequados; **iluminação natural:** pode ser controlada por meio de aberturas (que podem ser: zenitais, pequenos caixilhos, brises soleis, janelas). Tendo em conta que o Brasil é um país tropical com a maioria dos dias de calor intenso, deve-se ter cuidado para não criar zonas de efeito estufa, aproveitando a luz do céu e não a luz do Sol; **ventilação natural:** por meio de aberturas, criação de zonas de alta e baixa pressão, induzindo a ventilação cruzada e permitindo a refrigeração de ambientes cálidos; **isolamento térmico:**

utilizando materiais isolantes adequados se podem conservar a temperatura do interior por mais tempo; com o manejo adequado dessas estratégias pode-se evitar o uso de sistemas artificiais de climatização interior como ar condicionado e calefação, alcançando assim a eficiência da energia.

Ainda que cada termo tenha uma definição própria, existem muitas dúvidas de como alcançar na prática tais definições. Em suma, este trabalho procura uma resposta para atender as necessidades respondendo aos problemas próprios de cada lugar, no caso da escolha da produção e geração de energia in loco. Cada lugar tem seus valores culturais próprios, sua tecnologia própria, assim como problemas próprios a serem resolvidos.

### 3.3. Arquitetura e Energia

O desenvolvimento do homem está diretamente relacionado com o aumento de consumo de energia. O homem, despendendo sua energia para realizar algum trabalho, pode fazê-lo até certo limite. Para aumentar sua eficiência o homem recorreu à utilização de objetos externos, como as ferramentas, que a partir do momento em que passaram a ser manufaturadas tornaram-se máquinas.

No entanto, para uma ferramenta realizar um trabalho acima das possibilidades do esforço humano, outras formas de energia que não a do homem, passaram a ser utilizadas; primeiro a domesticação de animais, e depois a transformação da energia encontrada na natureza. A partir deste momento, a humanidade tornou-se extremamente dependente da produção energética para exercer suas atividades. O quadro 02 abaixo mostra o aumento do consumo de energia em relação à evolução da história do homem.

O homem primitivo (Leste da África, aproximadamente 1.000.000 de anos atrás) sem o uso do fogo tinha apenas a energia dos alimentos que ele comia, consumia 2.000 Kcal/dia.
O homem caçador (Europa, aproximadamente 100.000 anos atrás) tinha mais comida e também queimava madeira para obter calor e para cozinhar.
O homem agrícola primitivo (Mesopotâmia em 5.000 a.C.) semeava e utilizava energia animal.
O homem agrícola avançado (Nordeste da Europa, em 1.400 a.C.) usava carvão para aquecimento, a força da água, do vento e o transporte animal.
O homem industrial (na Inglaterra, em 1.875) tinha a máquina a vapor.
O homem tecnológico (nos EUA, em 1.970) consumia 230.000 Kcal/dia.

**Quadro 02** - Consumo energético através da História do Homem

**Fonte:** Goldemberg, 2001

Como pode ser observado na tabela, o desenvolvimento do homem significa um aumento no consumo de energia advinda de fontes cada vez mais poluentes, sempre tendo

como origem os recursos naturais. A maioria das fontes de energia usadas até hoje são extraídas de recursos naturais finitos e poluentes, sendo assim, o planeta como provedor de energia tem capacidade finita (GOLDENBERG 2001).

Segundo Goldemberg (2002) aproximadamente 80 por cento de toda a energia consumida no mundo provém dos combustíveis fósseis, que são os principais responsáveis por problemas de saúde e de meio ambiente em escala local, regional e global.

Após a revolução industrial o aumento da população e em consequência o aumento do consumo de energia, as agressões ao meio ambiente começaram a se intensificar tornando-se alarmantes. Na tabela 01 abaixo tem-se os problemas ambientais e suas principais fontes de problemas ambientais.

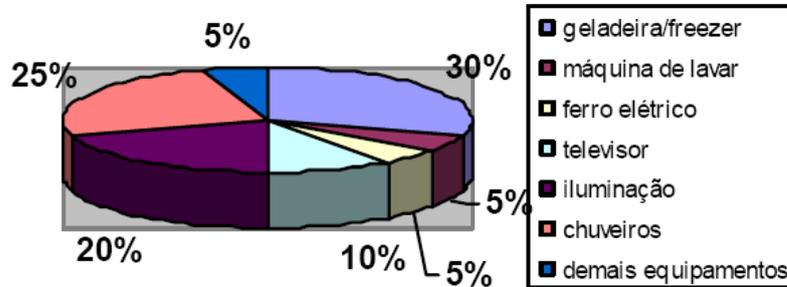
**Tabela 01** - Principais Fontes de Problemas Ambientais

<b>Problema ambiental</b>	<b>Principal fonte do problema</b>
Poluição urbana do ar	Energia (indústria e transporte)
Poluição do ar em ambientes fechados	Energia (cozinhar)
Chuva ácida	Energia (queima de combustível fóssil)
Diminuição da camada de ozônio	Indústria
Aquecimento por efeito estufa e mudança de clima	Energia (queima de combustível fóssil)
Disponibilidade e qualidade de água doce	Aumento populacional, agricultura
Degradação costeira e marinha	Transporte e energia
Desmatamento e desertificação	Aumento populacional, agricultura e energia
Resíduos tóxicos, químicos e perigosos	Indústria e energia nuclear

**Fonte:** Goldemberg (2001)

O edifício tem relação direta com o meio ambiente, uma vez que o edifício consome energia desde o momento da construção (na fabricação e transporte dos materiais construtivos) passando pela construção (obra propriamente dita) e o funcionamento dos

equipamentos (realização e ambientação das atividades humanas, iluminação, refrigeração, aquecimento e utensílios) como pode ser visto na figura 01 a seguir.



**Figura 01.** Uso Residencial da Energia Elétrica

Fonte: Goldemberg, 1998.

Mesmo antes das tecnologias de geração de energia, a questão energética esteve sempre relacionada à arquitetura. Segundo Mascaró (1983, p. 12)

“Através do tempo, o uso da energia na edificação evoluiu, produzindo edifícios de diferentes características energéticas segundo as disponibilidades e restrições do espaço-tempo... quando a disponibilidade de energia era restrita, o homem otimizava o seu uso, maximizando a aplicação dos recursos disponíveis [...]”.

No entanto, com o advento das técnicas artificiais de refrigeração ou aquecimento, tais técnicas naturais foram esquecidas. Mas com os problemas ambientais atualmente a preocupação com o meio ambiente tem se intensificado, e a estreita relação entre ambiente construído e energia leva a uma nova consciência arquitetônica. De acordo com Vianna (1986)

“Podemos demonstrar historicamente que o desenvolvimento da arquitetura foi consequência, inclusive, das diversas fontes de energia e dos potenciais tecnológicos delas derivados”.

[...] “estreito vínculo existente entre recursos energéticos/desenvolvimento tecnológico/desenvolvimento da arquitetura. Não podemos fechar nossos olhos a atual crise de energia e fazer de conta que nós, arquitetos, estamos alheios a esse processo”.

Torna-se prioridade para a arquitetura trabalhar a sustentabilidade quanto à questão energética no funcionamento dos edifícios, através de projetos que privilegiem sistemas passivos e produtivos de energia ambientalmente amigáveis.

De acordo com Paula (2005) a otimização energética se divide em dois tipos: por uso racional e gerenciamento energético e pela otimização por aumento de eficiência dos equipamentos envolvidos. Assim como se faz a seleção de materiais e componentes para a construção dos edifícios, faz-se necessário estudar os meios técnicos disponíveis para os sistemas operativos passivos, ativos e produtivos de energia (YEANG, 2001). A descrição desses sistemas segue abaixo:

A. Sistemas passivos de uso de energia (sistemas que não utilizam aparatos eletromecânicos). Como exemplos:

- orientação da edificação e sua implantação no terreno;
- desenho da fachada e dispositivos de controle solar;
- dispositivos passivos de iluminação e ventilação naturais.

B. Sistemas ativos, com baixo consumo de energia e pouco impacto ambiental, através das estratégias de otimização energética:

- monitoramento e controle dos dispêndios energéticos;
- controle de iluminação por zonas de iluminância;
- atendimento de elevadores por proximidade;
- possível produção noturna de gelo para alimentar o sistema de condicionamento de ar.

C. Sistemas produtivos, ou seja, que geram energia *in situ*. Das fontes de energia produtivas com possibilidade de aplicação na arquitetura, duas se destacam no nosso país atualmente:

- energia solar (Fototérmica);
- energia eólica.

A relação entre arquitetura e energia se faz em função da disponibilidade energética. A construção do edifício unindo o uso de novas tecnologias e a revisão das tecnologias autóctones começa a ser estudado com o intuito de minimizar o impacto do ambiente construído sobre o meio ambiente.

O objetivo é qualificar o espaço construído de acordo com os novos paradigmas de conservação ambiental e reverter o quadro que conduz à destruição do meio ambiente, o qual é fonte de subsistência da humanidade.

Em tese, com a redução do consumo e a oferta de energias alternativas e renováveis, os edifícios podem reduzir consideravelmente o consumo de energia proveniente de fontes convencionais. No limite, o edifício pode tornar-se auto-suficiente em relação a suas necessidades energéticas e passar a fornecer energia para a rede de distribuição, ao invés de alimentar-se dela (FONTOURA, 2007).

## 4. A REDUÇÃO DA DEMANDA: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### 4.1. Definições de Eficiência Energética

As relações entre energia e habitat sempre fizeram parte do repertório da arquitetura. Hoje pressionados por uma crise energética, estes conceitos são estudados com rigor, buscando minimizar o consumo de energia e maximizar o conforto.

A crise do petróleo ocorrida em 1973 abalou o modelo elétrico europeu e americano, baseado em termoelétricas (grandes poluidoras e empecilho para o cumprimento das metas do Protocolo de Kyoto). A partir desse momento iniciou-se uma busca de soluções para resolver questões ligadas a energia.

A falta de envolvimento do Brasil nessa questão era o fato de que a nossa matriz energética está baseada em hidroelétricas até então eficientes, mas com o “apagão” em 2001 ficou clara a necessidade de expansão do potencial elétrico instalado nacionalmente e assim ficou evidente que assuntos envolvendo o tema conservação e uso racional de energia tornou-se um problema a ser resolvido em nosso país.

Na arquitetura as medidas para reduzir a demanda de energia passaram a ser praticadas. O estudo sobre o desempenho energético das edificações começou a constar nos cursos de arquitetura e houve o aumento da preocupação dos projetistas. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997)

“A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é energeticamente mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”.

A eficiência energética consiste na correta utilização da iluminação e equipamentos para obter o máximo de rendimento da energia utilizada. O estudo de eficiência energética nas edificações é muito importante para propiciar uma economia efetiva, que, além de

reduzir o consumo, reduz a expectativa de demanda do sistema elétrico como um todo e, conseqüentemente, reduz os riscos de racionamento, o aumento de preços e o aquecimento global.

Dentro das ações que possuem um efetivo potencial de eficiência energética ressaltam-se: geração de energia alternativa, integração de sistemas de iluminação artificial com a luz natural, iluminação de tarefas, utilização de sistemas de controle, sensores de presença, temporizadores, sistemas de climatização natural e equipamento mecânico só quando for necessário (utilizando sistemas solares) e eficiente estudo de rentabilidade.

A arquitetura bioclimática, ou de alta eficiência energética, está se convertendo no pilar de aproveitamento da energia renovável, mediante a adequação do projeto, geometria, orientação e construção do edifício às condições climáticas de seu entorno. A adequação climática e ambiental não deve se entender como um elemento a mais de um processo de projeção arquitetônica predeterminada; é o projeto que deve adequar-se às solicitações do meio natural e a todos os demais condicionantes de partida, aproveitando as possibilidades que lhe são oferecidas.

De acordo com Goldemberg (1998), atualmente cerca de 40% da energia total consumida é obtida a partir do petróleo, considerada a matriz energética mundial. No Brasil a maior parte da energia elétrica consumida é produzida através de hidroelétricas, e 45% dessa energia está destinada para as edificações (comerciais, residenciais, industriais) sendo 22% só do setor residencial (BEN, 2008).

Grande parte dessa energia é consumida na geração do conforto ambiental aos usuários. As estatísticas mostram que o potencial de conservação de energia em prédios já construídos pode ser de até 30%, chegando a 50% em prédios novos (ELETROBRÁS, 2009).

Para se construir um edifício gasta-se apenas 35% da energia embutida no seu ciclo de vida, portanto o restante, que é a maior parte, fica para o seu funcionamento (YEANG, 2001, p. 141). Isso significa que o condicionamento passivo do edifício deve aproveitar ao

máximo a energia ambiental disponível, como a iluminação e ventilação natural, minimizando futuros gastos energéticos.

O condicionamento ambiental passivo é uma das questões mais sensíveis e um dos elementos mais característicos das práticas arquitetônicas menos agressivas ao meio ambiente. Implica em adotar como condicionante fundamental do projeto a necessidade de se garantir condições de conforto ambiental no interior dos edifícios a partir da interação entre a estrutura arquitetônica (materiais, volumetria, aberturas, etc) e os fatores climáticos (radiação solar, temperaturas, umidade do ar, precipitações, etc.).

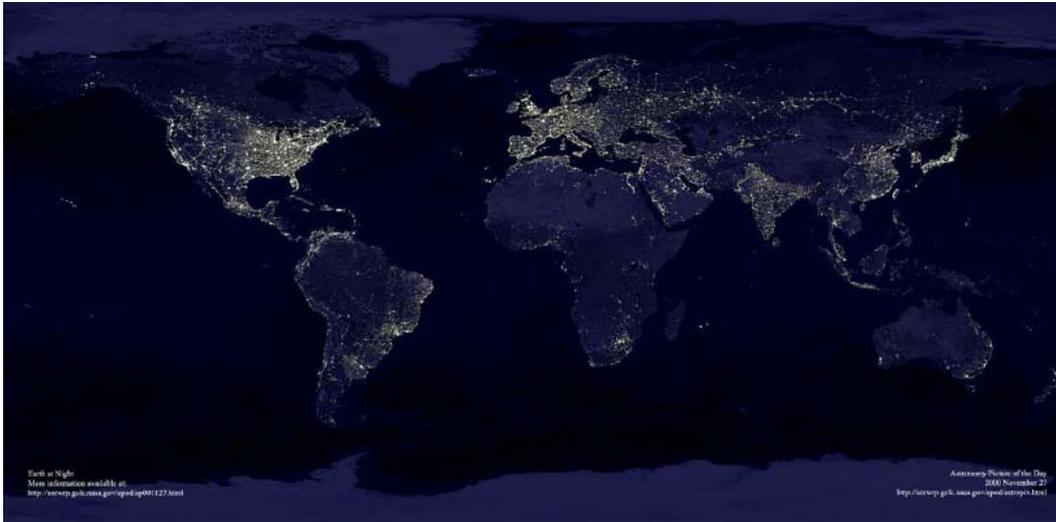
É consenso entre os estudiosos do assunto que um projeto de arquitetura energeticamente responsável deve prever ao máximo a utilização dos sistemas passivos de energia através das seguintes estratégias de projeto:

1. Orientação da edificação e sua implantação no terreno: Esta estratégia relaciona a forma do edifício em planta, sua posição no terreno e sua orientação com relação à insolação e aos ventos dominantes. Romero (1997, p. 1.10) observa que pode obter-se “uma redução no consumo de ar condicionado em 30% se feita a correta implantação seguindo o diagrama de insolação”. Uma implantação coerente com o meio ambiente deve abordar dois fatores importantes relativos à insolação: o clima local e o impacto do edifício no entorno. As condições climáticas locais podem ser positivas ou negativas. Em geral, é preciso tomar medidas adequadas para evitar um aquecimento excessivo no verão e aproveitar ao máximo os ganhos de calor solar no inverno. Pode-se conseguir isto através de um equilíbrio entre as perdas térmicas na fachada menos exposta à radiação solar e ganhos na fachada mais exposta. Para tanto, é importante uma cuidadosa seleção dos materiais de construção e uma correta organização espacial. As fachadas orientadas ao poente podem ser decisivas no excessivo aquecimento do edifício, já que na maior parte do ano os raios solares incidem nestas fachadas no final do dia, ou seja, quando a temperatura interna já está elevada. Também é preciso considerar o edifício em relação a outros edifícios em seu entorno.

2. O desenho da fachada e dispositivos de controle solar: A permeabilidade da envolvente do edifício quanto à luz, calor e ar, assim como sua transparência visual, são fatores que podem ser controlados e modificados para que o edifício possa reagir às mudanças das condições climáticas locais. Estas variações incluem a proteção contra os raios diretos do sol, a proteção térmica e as diversas regulagens da ventilação natural. Uma envolvente de um edifício bem projetada levará sempre à economia significativa de energia. Deve-se estudar os ângulos de incidência solar tanto no verão quanto no inverno, já que as diferenças entre as estações podem ser acintosas. Pode-se usar, elementos como, por exemplo, brises, fachadas duplas, etc.

3. Dispositivos passivos de iluminação e ventilação naturais: A maior parte das técnicas de iluminação passiva se baseia em controlar a luz solar que incide diretamente e reduzir seus efeitos potencialmente negativos sobre o bem estar visual, assim como a diminuição do gasto em refrigeração por meio da redução dos ganhos de calor. Adequadamente projetadas, as soluções de ventilação natural podem conseguir ganhos significativos em custos e energia. Além disso, sua presença reduz as necessidades de ventilação mecânica e ar condicionado assegurando um edifício mais saudável. A ventilação cruzada é uma maneira eficiente de controlar o fluxo de ar no edifício, mas exige uma planta livre de anteparos ou divisórias.

## 4.2. Panorama Energético do Brasil e do Mundo



**Figura 02.** Terra à noite

**Fonte:** National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2009). Disponível em <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

Mais do que mera satisfação das necessidades humanas básicas, de preparo de alimentos, força motriz, locomoção ou conforto térmico, o consumo de energia elétrica encontra-se intrinsecamente ligado ao padrão de produção, estilo de vida e cultura de uma sociedade.

A intensidade do consumo de energia elétrica está diretamente relacionada à renda dos países ao longo do tempo, acompanhando uma correspondente evolução tecnológica e do consumo de bens e serviços, e ainda tem sido um parâmetro significativo da distinção entre ricos e pobres.

A um crescente nível de desigualdade econômica que caracteriza a sociedade brasileira, soma-se um padrão de exclusão, em cujo extremo mais negativo encontram-se as populações rurais das Regiões Norte e Nordeste, em oposição ao Sul-Sudeste urbano, detentor de maior renda e maior acesso a bens e serviços inclusive públicos.

As estatísticas de 2002 revelaram que no Norte do país, 62,5% da população rural (cerca de 2,5 milhões de pessoas) não tinham acesso aos serviços de energia elétrica. No

Nordeste, 39,3% dos moradores da área rural (cerca de 5,8 milhões de pessoas) não tinham luz elétrica. No Centro-Oeste, somavam-se 27,6% (cerca de 367 mil pessoas); no Sudeste, 11,9% (cerca de 807 mil pessoas); enquanto que no Sul 8,2% (cerca de 484 mil pessoas). Somados aos 2,0 milhões de pessoas residentes em áreas urbanas, sem acesso à energia elétrica, atingia-se o total de 12 milhões de pessoas sem acesso à energia elétrica, sem levar em conta a população de rua, historicamente ignorada nas contagens (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

Por conta desses dados em 11 de novembro de 2003, por meio do Decreto n.º 4.873, é implantado a partir do ano de 2004, o “Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz Para Todos” (LPT) que foi criado pelo Governo Federal com o objetivo de levar a luz elétrica aos lares brasileiros de baixa renda e de áreas predominantemente rurais. Segundo dados do Censo 2000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), fornecidos pelo “Manual de Operacionalização do Luz Para Todos” do Ministério das Minas e Energia.

Em janeiro de 2009, 9,5 milhões de brasileiros já haviam sido beneficiados pelo programa. A primeira meta de atender inicialmente 10 milhões até 2008 foi modificada, o objetivo agora é atender as novas demandas, provenientes do crescimento vegetativo, fixação e retorno de famílias no campo, que correspondem a 15 milhões de pessoas. A figura 03 a seguir mostra a quantidade de pessoas beneficiadas por região até janeiro de 2009.



**Figura 03.** Pessoas beneficiadas pelo programa Luz Para Todos (LTP)

Fonte: LPT, 2009. Disponível em

<http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Informativo%2009.pdf>

O Ministério das Minas e Energia (MME) divulgou o Manual de Projetos Especiais do Programa Luz para Todos em fevereiro de 2009. A publicação estabelece os critérios técnicos e financeiros, além dos procedimentos e prioridades, que serão aplicados no atendimento de comunidades isoladas e de difícil acesso, com uso de fontes alternativas de energia elétrica. A aprovação do manual foi publicada no Diário Oficial da União por meio da Portaria nº 60. Entre as opções tecnológicas destacadas pelo manual estão mini e micro centrais hidrelétricas, sistemas hidrocinéticos<sup>1</sup>, térmicas a gás natural ou biocombustível, usinas solares fotovoltaicas e aerogeradores, além da possibilidade de sistemas híbridos. De acordo com o MME, 2009

“A utilização de turbinas hidrocinéticas, placas solares, a força dos ventos, entre outras fontes, poderão servir como alternativa para a chegada da energia elétrica em lugares isolados”.

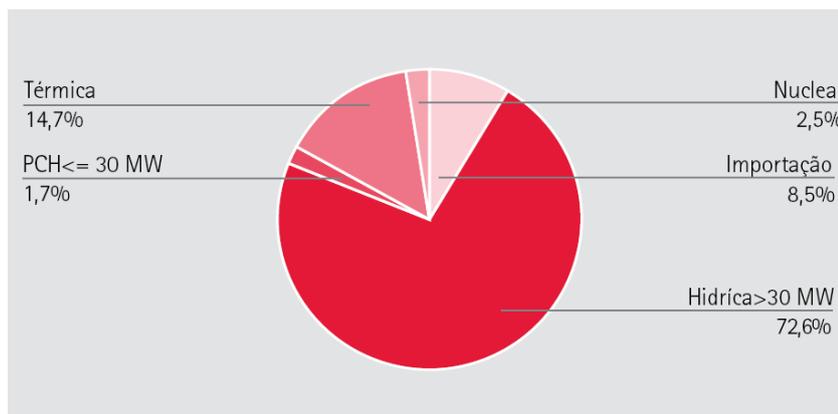
<sup>1</sup> Sistemas hidrocinéticos utilizam rodas d'água ou turbinas para a produção de energia elétrica, impulsionadas apenas pela velocidade do rio, ou seja, sem a necessidade de barragem ou queda d'água. Em qualquer dispositivo hidrocinético, a potência varia proporcionalmente ao cubo da velocidade da água. Sendo assim, para que o dispositivo seja viável, é fundamental que haja uma velocidade mínima, abaixo da qual o torque proporcionado pelo fluxo de água mal supera as resistências internas do dispositivo e a potência elétrica gerada é nula ou desprezível frente aos investimentos realizados. Fonte: ELETROBRAS, 2009.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2002) preenchendo um vácuo de política pública, tem fixado metas e prazos para a universalização do acesso à energia. Dúvidas persistem se, de fato, terá os meios de incentivo ou coerção necessários para que as concessionárias cumpram as metas estabelecidas e sobre como serão absorvidos ou financiados os custos para a sua execução. Preconiza-se então a utilização de GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, que vem a ser a geração da própria energia no local.

O “know-how” para diminuição do consumo de energia, mas proporcionando o mesmo conforto e bem estar, já está disponível. Com o progresso científico-tecnológico, o uso de novas fontes - as renováveis e alternativas - vem sendo ampliado, extensiva e intensamente, em substituição aos combustíveis fósseis.

Porém essas fontes vêm sendo mantidas por mercados pequenos e isolados, estimulados por esforços localizados de governos, pesquisadores e fabricantes. Não obstante as dificuldades em se vencerem os obstáculos de mercado e ações de grupos cujos negócios dependem de combustíveis fósseis, o emprego de fontes renováveis e alternativas está conhecendo uma expansão ainda discreta, mas irreversível.

O parque gerador brasileiro é composto em sua maior parte por usinas hidrelétricas, fato que decorre das características geográficas do país e do histórico de investimentos do governo neste setor. O gráfico 01 a seguir demonstra essa situação apresentando a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2007, que tem 72,6% atendida por hidroelétricas:



**Gráfico 01** - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica.

**Fonte:** Empresa de Pesquisa Energética. BEN, 2008.

Desde o início do século XX foram implantadas hidrelétricas no país, essa opção foi reforçada nos governos de Getúlio Vargas, pela política expansionista para o setor elétrico, tendo continuidade com Juscelino Kubitschek e forte impulso durante o regime militar, com a construção de grandes usinas hidrelétricas, como Itaipu e Tucuruí (ROSA, 2007).

Os maiores potenciais remanescentes de produção de energia hidroelétrica estão em regiões com fortes restrições ambientais e distantes dos grandes centros consumidores, apresentando altos custos de implantação e ações contra as instalações devido aos impactos ambientais negativos. Isso tem acarretado na diminuição da participação dessa fonte na matriz elétrica nacional. A partir daí uma sucessão de fatos criou no Brasil um cenário propício para um colapso em 2001, forçando o governo e órgãos reguladores a tomar medidas rápidas para tentar minimizar as conseqüências do fenômeno do “apagão”.

De acordo com a Comissão de análise do sistema Hidrotérmico de Energia Elétrica (CASHEE, 2001) o Brasil já estava sujeito a riscos, devido à debilidade do seu sistema elétrico, desde o início do ano 2000. Falhas na comunicação entre os órgãos ligados ao setor energético e o governo culminaram em um descaso da situação que se agravou no ano seguinte.

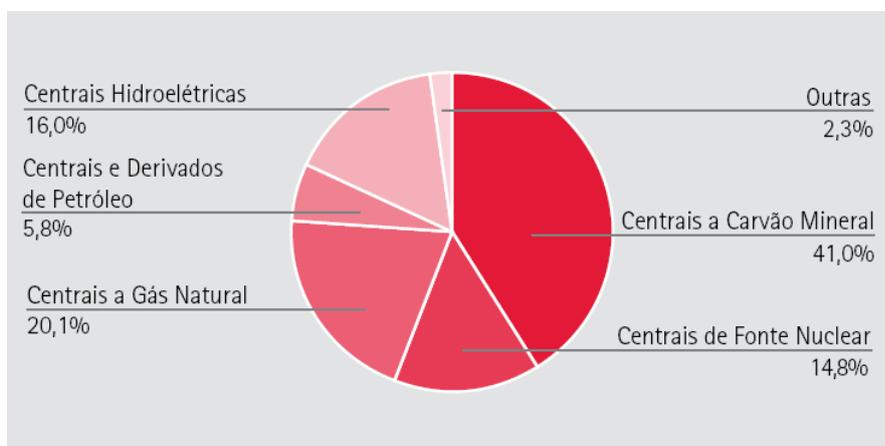
As condições hídricas adversas tiveram somente o efeito de precipitar a crise devido ao desequilíbrio já existente entre oferta e demanda de energia. Desequilíbrio este

provocado pelos atrasos na entrada em operação de obras de geração e transmissão programadas e a não construção de obras previstas no PDE 98-07, levando a um efeito acumulado de 22.000 GWh de energia não disponibilizada, o que poderia elevar o nível de armazenamento das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste de 32% para 47% (CASHEE, 2001).

Com o racionamento de energia em 2001 verificou-se também que a redução no consumo de energia trouxe redução do crescimento econômico em diversos setores, acarretando também o agravamento de outro problema social, o desemprego.

Segundo Rosa (2007) muitos ainda não despertaram para a mudança em curso do setor elétrico brasileiro, e que deve ser questionada se é compatível com o modelo de desenvolvimento sustentável.

Apesar dos impactos sociais e ambientais gerados pelas hidroelétricas, essas são consideradas fonte de energia limpa e renovável e coloca o país em posição de destaque nas energias renováveis, pode-se afirmar que mais de 80% da eletricidade no Brasil é originada de fontes renováveis – sem considerar que parte da geração térmica é originada de biomassa. Na média mundial, fontes renováveis correspondem a apenas 18,3% da geração de eletricidade (BEN, 2008). O gráfico 02 abaixo confirma essa situação:



**Gráfico 02.** Estrutura da Oferta de Energia Elétrica<sup>1</sup> Segundo a Natureza da Fonte Primária de Geração no Mundo em 2006.

**Fonte:** BEN, 2008.

Apesar de os derivados de petróleo no Brasil e no mundo terem uma participação tão grande, eles vêm perdendo espaço, principalmente, para o gás natural e os combustíveis renováveis.

O crescimento do gás natural foi impulsionado pelo Gasoduto Brasil- Bolívia (Gasbol), enquanto os renováveis devem muito de seu aumento à retomada do uso do álcool etanol na frota nacional de automóveis, devido à introdução dos modelos bicombustíveis (ROSA, 2007).

A expansão acentuada do consumo de energia, embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, tem aspectos negativos. Um deles é a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia. Outro é o impacto ao meio ambiente produzido por essa atividade.

Essa inter-relação entre qualidade de vida e demanda energética foi o principal motivo do acentuado crescimento no consumo mundial de energia verificado nos últimos anos. Para atender tal demanda em crescimento, novas fontes de energia vêm sendo descobertas e pesquisadas. Além disso, foram criadas várias agências de regulamentação para o uso racional de energia.

---

<sup>1</sup> No Balanço Energético Nacional, a menos de eventuais ajustes estatísticos, a soma do consumo final de energia, das perdas na distribuição e armazenagem e das perdas nos processos de transformação, recebe a denominação de Oferta Interna de Energia – OIE, também, costumeiramente denominada de matriz energética ou de demanda total de energia.

### 4.3. Sistemas de Avaliação Ambiental

Uma das características mundiais desse processo de busca para organizar uma arquitetura que atenda as necessidades atuais, é o desenvolvimento de sistemas de avaliação ambiental. Quase todos os países desenvolvidos (por exemplo, maior parte dos países europeus, EUA, Austrália, Japão, Canadá e Hong Kong) possuem pelo menos um desses dispositivos desenvolvidos com uma fácil incorporação no projeto, que funcionam como um certificado de qualidade, aprimorando o desempenho ambiental do edifício (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003).

Esses sistemas servem como um instrumento de balizamento para o processo projetual, certificando que o edifício terá um desempenho ambiental de acordo com uma arquitetura ecológica. Desde a ECO-92, estes dispositivos têm servido como parte das estratégias para o cumprimento das metas ambientais.

Silva (2003) argumenta sobre os objetivos dos sistemas de avaliação:

Todos estes métodos partilham o objetivo de encorajar a demanda do mercado por níveis superiores de desempenho ambiental, provendo avaliações ora detalhadas, para o diagnóstico de eventuais necessidades de intervenção no estoque construído; ora simplificadas, para orientar projetistas ou sustentar a atribuição de selos ambientais para edifícios. E todos eles concentram-se exclusivamente na dimensão ambiental da sustentabilidade.

A iniciativa pioneira foi o desenvolvimento do BRE *Environmental Assessment Method* (BREEAM), lançado em 1990 pelo *Building Research Establishment* (BRE), agência britânica de pesquisa e consultoria sobre o ambiente construído. O BREEAM avalia a performance dos edifícios em relação a 9 temas: gestão do empreendimento, uso de energia, saúde e bem estar, poluição, transporte, uso do solo, ecologia, materiais e água. São também exemplos de sistemas de avaliação do desempenho ambiental voltados para a arquitetura, entre diversos outros: LEED (Estados Unidos), DCBA (Países Baixos), Pinwag (Finlândia), CASBEE (Japão), HQE (França) e GBC (internacional), brevemente comentados a seguir.

O *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) foi desenvolvido pela organização não-governamental norte-americana *US Green Building Council*. O método estabelece 6 categorias de critérios de sustentabilidade: sustentabilidade do sítio, eficiência no uso da água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno e inovação e processo de projeto. De acordo com a pontuação obtida, são definidas quatro possíveis classificações para o edifício apresentados em ordem de importância (certificado, prata, ouro e platina) (US GREEN BUILDING COUNCIL, 2002).

O *DCBA-methode* foi desenvolvido pela BOOM, empresa holandesa de consultoria sobre arquitetura sustentável, e também estabelece quatro “níveis de sustentabilidade” a serem atribuídos independentemente para cada variável examinada, sendo “D” o menos favorável (situação convencional, onde não há preocupação com a questão ambiental) e “A” o mais favorável (a melhor situação possível). O DCBA contém parâmetros quantitativos precisos e contempla 9 variáveis: energia, água, vegetação, materiais de construção, ambiente interno e segurança, lixo doméstico, flexibilidade e adaptabilidade, entulhos de obra e demolição, e informação. (EUROPEAN GREEN CITIES NETWORK; BOOM).

O *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE) (Japão) foi desenvolvido pelo *Japan Sustainable Building Consortium* (JSBC), um consórcio formado por representantes do governo, da indústria e da academia. O método, baseado no conceito de eficiência ambiental, procura expressar matematicamente a “qualidade ambiental” do edifício como o equilíbrio entre seu “desempenho ambiental” em relação aos usuários e seu “desempenho ambiental” em relação aos ecossistemas, considerando uma gradação de escala que abrange do entorno imediato do edifício à ecossfera (JAPAN SUSTAINABLE BUILDING CONSORTIUM, 2005).

O procedimento *Haute Qualité Environnementale* – HQE , foi desenvolvido por uma associação formada por institutos de pesquisa, governos locais, empresas e profissionais do setor da construção civil (Association-HQE). O procedimento HQE define 14 “alvos”, divididos em 4 temas: eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde. Para um dado projeto,

de acordo com as especificidades do programa, deve ser estabelecida uma hierarquia de prioridades entre esses “alvos” pré-definidos, de forma que três ou quatro deles atinjam uma performance ótima, pelo menos outros quatro atinjam performance acima do padrão e todos as demais atinjam ao menos a performance mínima estabelecida pelas normas ou pelas boas práticas correntes. É interessante notar ainda que o sistema de certificação HQE tem por objeto não o edifício em si, mas a gestão do projeto (AGENCE DE L’ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L’ENERGIE, 2004).

O *Green Building Challenge* (GBC) é um consórcio internacional financiado em seu desenvolvimento inicial pelo governo canadense e coordenado pela organização não governamental International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE), sediada no Canadá. O GBC reúne pesquisadores de 24 países (incluindo o Brasil), trabalhando de forma independente, mas coordenada, no desenvolvimento de um protocolo de avaliação ambiental de edifícios adaptável a distintos contextos nacionais e locais. 3 A metodologia do GBC é orientada ao desempenho, constituindo uma exceção frente à quase totalidade dos sistemas existentes, em sua maioria orientados a dispositivos, ou seja, baseados em listas de checagem, a partir das quais são atribuídos créditos pela aplicação de determinadas estratégias ou especificações de projeto (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003).

Em seu 5º Programa-Quadro de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, a Comissão Européia, por meio da Direção-Geral da Energia e dos Transportes financiou o projeto *The European Green Building Forum 2* (EGBF 2), cujo principal objetivo era responder à necessidade de coordenação em nível europeu a respeito do tema.

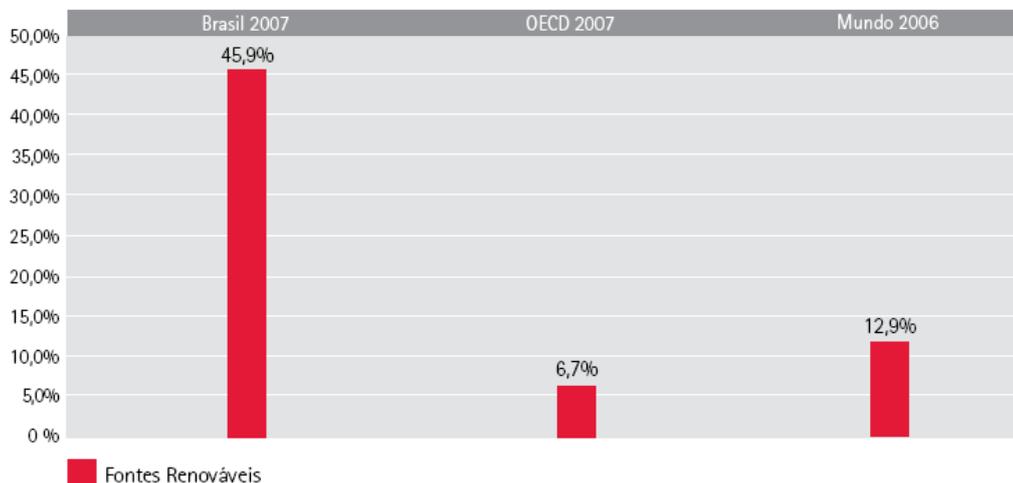
Um dos produtos estabelecidos como meta do projeto era a elaboração de um documento de referência com abrangência européia, constando de um levantamento dos sistemas e critérios utilizados na Europa para a avaliação ambiental do projeto, da construção e da reforma de edifícios. Esse documento cumpriria o papel de uma abordagem européia de base (core european approach) e foi publicado em 2001 com o título *Green File*.

A equipe do projeto analisou 23 métodos de avaliação, utilizados em 9 países europeus além de Canadá e Estados Unidos. A partir dessa análise, foi construída uma matriz que sistematiza as convergências entre aquelas diferentes abordagens. A matriz do *Green File* pode, portanto, ser considerada como uma síntese consolidada da visão oficial corrente sobre os temas e objetivos que definem o campo programático da arquitetura sustentável.

## 5. A QUALIFICAÇÃO DA OFERTA: ENERGIAS ALTERNATIVAS

Segundo Goldemberg (2002) as principais vantagens das fontes de energias renováveis em relação aos combustíveis fósseis são: o aumento da diversidade do suprimento de energia, assegurar o suprimento de energia sustentável em longo prazo, redução das emissões atmosféricas (local, regional e global), criação de novas oportunidades de trabalhos em comunidades rurais, oportunidade de manufatura local e aumento da segurança de suprimento já que elas não requerem importações que caracterizam o suprimento de combustíveis fósseis.

O Brasil hoje se encontra em posição de destaque em relação à matriz energética renovável, pois a maior parte da energia elétrica produzida no país é obtida a partir de hidrelétricas. O gráfico 03 abaixo comprova a participação das fontes renováveis na matriz energética do Brasil e do mundo.



**Gráfico 03.** Estrutura de Participação das Fontes Renováveis e Não Renováveis na Matriz Energética do Brasil, dos Países da OCDE e do Mundo 2006 E 2007.

**Fonte:** BEN, 2008.

### 5.1. Geração de Energia Distribuída

A geração distribuída (GD) ou descentralizada de energia pode ser definida como a geração de pequeno porte modular, situada próximo ao centro de consumo, dispensando, portanto, sistemas de transmissão de energia, interligada ou não ao sistema de distribuição. Esse conceito de geração vem ganhando espaço no mundo e representa, simultaneamente, oportunidade e ameaça para as empresas concessionárias de energia.

Entre as principais tecnologias de geração distribuída de energia, destacam-se as células a combustível, as microturbinas a gás, os motores de combustão interna de baixa emissão, os motores Stirling e os painéis fotovoltaicos. As pequenas centrais hidrelétricas, as termelétricas solares, as eólicas e a co-geração, sob certas condições, também se enquadram nesse conceito de GD (DINIZ; QUADROS; CARVALHO, 2004).

Geração de energia distribuída refere-se a pequenas usinas de geração de eletricidade, integradas ou individuais, localizadas próximas ou juntas ao usuário final. A energia distribuída poderá complementar nosso sistema atual de geração de energia que se encontra sobrecarregado em muitas partes do mundo. Em muitas fábricas, escritórios comerciais, repartições públicas e lugares onde é essencial um fluxo contínuo de eletricidade, é extremamente necessário optar por geradores próprio de eletricidade (sistemas de backup) (FARRET, 1999).

Desta forma, uma nova perspectiva vem sendo estudada, com o objetivo de minimizar os problemas decorrentes da expansão do sistema elétrico no atendimento das áreas mais isoladas: a geração descentralizada de energia elétrica.

Com substituição da geração de energia centralizada pela descentralizada, uma maior difusão e uma integração em rede podem-se gerar energia elétrica com um menor risco de panes, pois a geração será próxima ao consumidor, e eventualmente até mais barata, pois isso diminuirá drasticamente os custos e perdas na transmissão (RIFKIN, 2003).

Ao tratar do assunto Geração Distribuída, deve-se observar o problema da eletrificação rural. O foco das políticas de eletrificação rural entre 1970 e 1990 estava voltado à conexão de vilarejos e áreas remotas ao sistema elétrico interligado. Esta visão, comum a diversos países no mundo, concentrava-se na expansão gradativa da malha energética, eventualmente controlado por estatais, para solucionar o problema do atendimento energético e, conseqüentemente, promover o desenvolvimento econômico das áreas rurais mais remotas (WORLD ENERGY ASSESSMENT - WEA, 2000).

Porém, diversos estudos apontam para um fator importante no sucesso econômico de um determinado planejamento: somente a eletrificação não garante, em si, o desenvolvimento econômico. Além disso, a visão “centralista” de interligar áreas remotas ao sistema elétrico apresenta segundo Goldemberg, alguns problemas que devem ser considerados:

- As áreas remotas com menores populações são as últimas a receberem energia;
- Muitos locais mais afastados experimentam custos mais altos de transmissão e distribuição de energia elétrica;
- A capacidade das linhas de transmissão é pouco aproveitada pela numero reduzido de pessoas a serem atendidas;
- A densidade de potência e os níveis de demanda são muito baixos;
- As comunidades atendidas tendem a ter um perfil de demanda pouco diversificado, caracterizado por picos definidos de consumo;
- As perdas nas linhas de transmissão tendem a ser maiores;
- A extensão incremental do sistema elétrico, em vez da extensão adaptada para minimizar perdas, tende a tornar as linhas mais suscetíveis a defeitos elétricos, aumentando ainda mais as perdas no sistema (WEA, 2000).

No atendimento de consumidores remotos, com baixas cargas, altamente dispersos e com perfis semelhantes, a geração distribuída se insere como alternativa viável, evitando

a maior parte dos problemas observados no sistema centralizado, porém apresenta seus problemas, conforme Goldemberg indica (WEA 2000):

- A geração distribuída é desenvolvida basicamente através de geradores à diesel, pequenas e mini centrais hidrelétricas, painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e geradores a biogás;
- Os altos custos de operação e manutenção dos grupos geradores diesel tornam-se uma barreira à sua implantação, juntamente com os as emissões de poluentes no ambiente;
- Embora os pequenos aproveitamentos hídricos sejam mais viáveis economicamente, como geralmente são sistemas a fio de água, ficam muito suscetíveis à disponibilidade de água e, conseqüentemente, suscetíveis aos fatores climáticos;
- A energia solar é viável em relação a custos em baixas potências, na ordem de centenas de Watts, em aplicações de corrente contínua. Em escalas maiores, como os conjuntos diesel, os custos tornam-se o principal obstáculo, devido às maiores quantidades de coletores solares e também à necessidade de utilização de inversores para obtenção de correntes alternadas;
- As turbinas eólicas representam uma alternativa interessante em matéria de custos, seja em aproveitamentos de pequena escala (centenas de watts), seja em escalas maiores (até alguns megawatts). Porém só são passíveis de aproveitamento com disponibilidade de vento. Sistemas híbridos eólica/solar/diesel podem ser implantados para minimizar as dependências climáticas e manter os custos em níveis atrativos;
- Aproveitamentos de biomassa apresentam custos de implantação mais altos, porém a produção de energia apresenta custos mais baixos que, aliados à tecnologias

atuais, permitem a utilização do biogás ou da biomassa na geração de energia com maior rendimento.

A mudança da geração de energia centralizada para a geração distribuída, indiferente da configuração, tende para os mesmos resultados: fornecimento de energia de fontes mais diversificadas, desenvolvimento de sistemas de energia mais sustentáveis, solução de problemas e barreiras de interconexão dos sistemas e maior competitividade para os consumidores (CLARK; ISHERWOOD, 2004).

Segundo Clark e Isherwood (2004) a geração distribuída pode ser conseguida nas comunidades através de uma combinação de esforços para melhorar as tecnologias mais avançadas de geração de energia (como por exemplo, a solar e as células à combustível) tanto sozinhas quanto em conjunto, para criar novas oportunidades de negócios e desenvolvimento econômico mais sustentável.

Apesar do parque gerador brasileiro ser predominantemente baseado em grandes centrais geradoras, a geração distribuída começa a ganhar cada vez mais espaço, tanto para a Auto Produção de Energia (APE) quanto para a Produção Independente de Energia (PIE). A maior prova disso foi a recente criação pelo Governo Federal do Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia (PROINFA, 2002), coordenado pelo MME, com o apoio da ANEEL, Eletrobrás e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

A capacidade instalada de geração distribuída no Brasil é 3% da potência total instalada de geração de energia elétrica no país e é quase integralmente operada por autoprodutores, sendo que a maior parte utiliza biomassa, principalmente bagaço de cana, gás natural e óleo diesel (MME, 2005).

Para tanto, os sistemas distribuídos devem ser sistêmicos e o governo e o setor público têm uma função importante: planejar e desenvolver um conjunto de regras voltadas à redução de custos e melhora da eficiência de sistemas que utilizam estas novas

tecnologias. Outras ações, como financiamentos, políticas de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias, sistemas de subsídio de custos, entre outros, podem ser utilizados como ferramentas no fomento da geração de energia distribuída.

## 5.2. Cogeração

A cogeração consiste na geração simultânea de energia eletro-mecânica e térmica a partir de uma mesma fonte de energia primária. A fonte de energia primária pode ser composta por um ou mais combustíveis utilizados em conjunto. Como o aproveitamento da energia da fonte primária é maior, a eficiência global aumenta o que é favorável do ponto de vista da conservação de energia.

Apesar de existir a possibilidade de realizar cogeração em centrais maiores, na grande maioria dos casos ela é classificada como geração distribuída de energia, pois em geral é realizada pelo próprio agente consumidor, próxima ao local de consumo.

Em suma a Cogeração é a produção de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica (calor ou frio) a partir do uso de gás natural e/ou de biomassa, entre outros (PARO, 2005). No Brasil, até poucos anos atrás, esta modalidade era praticada apenas pelo setor industrial com a finalidade de autoprodução. No entanto, em decorrência das transformações pelas quais tem passado o setor elétrico nas últimas décadas, dentre elas a incapacidade de manter os investimentos necessários à geração centralizada e a tendência de diversificação das fontes de energia elétrica, esta visão tem mudado bastante.

As necessidades de calor do setor residencial e comercial brasileiros são menores que as de eletricidade. Entretanto um grande consumidor de eletricidade no setor residencial brasileiro é o chuveiro elétrico, 25% da energia consumida, cuja finalidade é aquecer água (Goldemberg, 1998).

Na medida em que os sistemas de células a combustível forneçam essa água quente haverá considerável redução na demanda de eletricidade, diminuindo a sobrecarga do sistema hidrelétrico do país. Este fato certamente valorizará o calor gerado pelas células a combustível facilitando a introdução destas no mercado.

### 5.3. Energia Solar

O sol é uma fonte perene, silenciosa, gratuita e não poluente de energia e responsável por todas as formas de vida no planeta (FARRET, 1999). Assim, pode representar uma solução para parte dos problemas de escassez de energia que abalam o mundo atualmente.

Segundo o estudo sobre Outras Fontes constante do Plano Nacional de Energia 2030, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética, sua irradiação por ano na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2008).

De acordo com a CRESESB (Centro de Referência em Energia Solar e Eólica) a energia solar tem potencial energético extremamente elevado e incomparável a qualquer outro sistema de energia, sendo a fonte básica e indispensável para praticamente todas as fontes energéticas utilizadas pelo homem. A energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio.

Devido ao crescente aumento da preocupação com relação às questões ambientais e a busca por uma maior eficiência energética, os sistemas solares fotovoltaicos integrados ao edifício e interligados à rede elétrica vem tomando impulso crescente. Em conjunto com outros elementos construtivos, caminham para o sucesso, buscando uma arquitetura mais eficiente e sustentável (SALAMONI; RÜTHER, 2003).

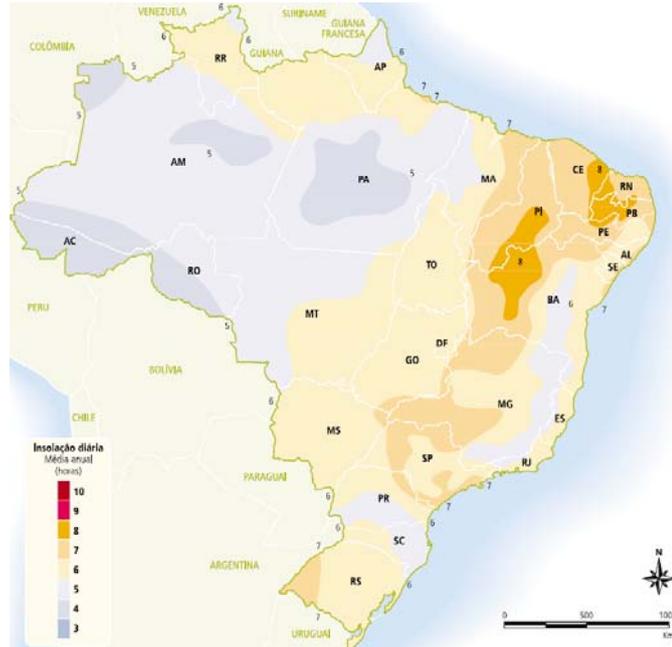
Segundo a *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21)*, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede continuaram a ser, em 2006 e 2007, a tecnologia de geração com maior crescimento no mundo. Sendo assim, à medida que sua aplicação é mais disseminada, o custo é menor (ANEEL, 2008).

Ainda assim a participação da energia solar é pouco expressiva na matriz mundial. Entretanto, ela aumentou mais de 2.000% entre 1996 e 2006. Em 2007, a potência total instalada atingiu 7,8 mil MW, conforme estudo do Photovoltaic Power Systems Programme, da International Energy Agency (IEA) (ANEEL, 2008).

A energia solar é uma das grandes apostas da Europa na busca de matrizes energéticas renováveis e alternativas. A Alemanha, por exemplo, se destacou mundialmente por aproveitar 40% de seu potencial fotovoltaico (FAPESP, 2009).

O pesquisador britânico John Twidell apresentou um trabalho no workshop *Physics and Chemistry of Climate Change and Entrepreneurship*, também destacou que a energia solar terá utilidades diversas, no aquecimento e no bombeamento de água, na geração de eletricidade e na refrigeração. “As células fotovoltaicas terão de ser integradas ao *design* das construções. E os arquitetos precisarão ser treinados para isso”, afirmou Twidell, diretor do Centro Amset da Universidade de Montfort, no Reino Unido, que patrocina P&D em energias renováveis e sustentabilidade (REVISTA FAPESP, 2009).

O Brasil, com privilegiada situação geográfica, possui uma grande área de insolação, com boa capacidade de geração. O Plano Nacional de Energia 2030 reproduz dados do Atlas Solarimétrico do Brasil e registra que essa radiação varia de 8 a 22 MJ (megajoules)1 por metro quadrado (m<sup>2</sup>) durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, variando de 8 a 18 MJ/m<sup>2</sup> (ANEEL, 2008). A figura 04 mostra a média anual de insolação em horas no país.



**Figura 04.** Média Anual de Insolação em horas no país.

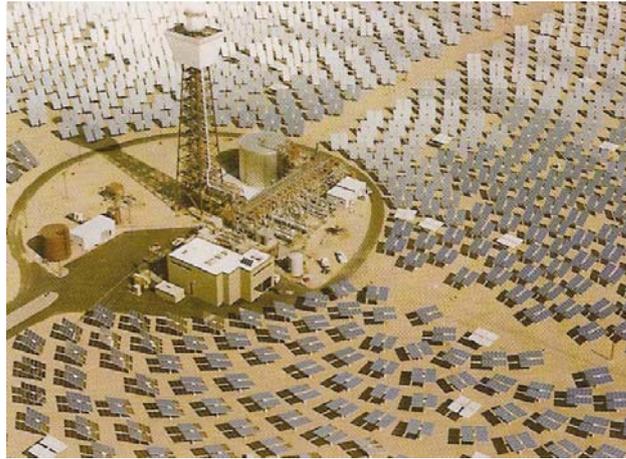
**Fonte:** ANEEL, 2008.

Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03Energia_Solar(3).pdf)

Apesar deste potencial e de o uso de aquecedores solares estarem bastante difundidos em cidades do interior e na zona rural, a participação do sol na matriz energética nacional ainda é bastante reduzida (ANEEL, 2008).

## Histórico

Durante a década de 1980, foram construídos os primeiros grandes arranjos experimentais para a geração de eletricidade com o emprego de altas temperaturas. Foram desenvolvidos diferentes sistemas de receptores centrais ou do tipo torre de energia. O sistema *Solar One* de 10 MW em Barstow, Califórnia, mostrada na figura 05 abaixo, é um exemplo. Ele usa um campo heliostático, que reflete os raios do sol em uma caldeira no topo de uma torre central (BOYLE, 2004).



**Figura 05.** Sistema de receptor solar central de Barstow: campo heliostático

**Fonte:** Boyle, 2004

A maior parte da eletricidade solar gerada em grande escala no mundo é produzida pela empresa *Luz International*, instalada em Kramer Junction no deserto de Mojave, na Califórnia. Entre 1984 e 1990, a empresa Luz instalou nove novos Sistemas de Geração de Eletricidade Solar em Série (SEGS – Solar Electricity Generating Systems). Trata-se de sistemas híbridos, que operam com auxílio de gás natural, que atende a demanda em horários de baixa incidência solar (BOYLE, 2004).

## **Sistemas produtivos de energia solar**

A energia solar pode ser usada de várias formas. As aplicações mais difundidas da tecnologia solar referem-se à conversão da radiação solar em energia térmica ou em energia elétrica. Outro exemplo que pode ser citado é o uso de energia passiva (térmica e lumínica), de praticamente nenhum impacto ambiental e totalmente renovável, aplicada nos projetos de edificações. Os tipos de produtivos de energia solar são descritos abaixo:

### **1. Fototérmica**

O sistema de aquecimento solar para a produção de água quente para fins sanitários foi desenvolvido nos anos setenta e tem sido aperfeiçoado. Os captadores transformam a radiação do sol (energia térmica) em mecânica (calor), que é transportado por tubos e armazenado em um depósito, para ser distribuído pela edificação (água aquecida para

banho, ar quente para secagem de grãos, gases para acionamento de turbinas, etc.) (CRESESB, 2008).

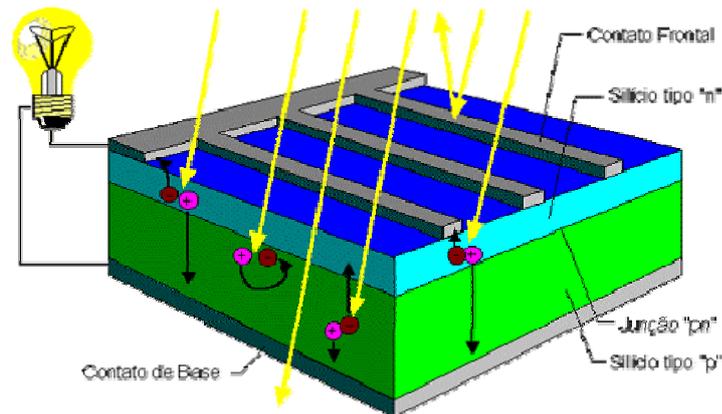
Seu uso direto, como fornecedor de energia térmica, pode ser facilitado pela sua aplicação junto às próprias fontes consumidoras, o que elimina qualquer gasto com o transporte da energia.

Esse sistema é aconselhável para o aquecimento de água no consumo doméstico, e tem sido uma solução alternativa para comunidades com baixo poder aquisitivo ou que não possuem acesso a outros tipos de energia. Porém, sua desvantagem está na falta de energia em dias nublados.

## **2. Fotovoltáica**

A energia solar pode também ser convertida em eletricidade, através do uso de células fotovoltaicas que são painéis ou módulos revestidos com material condutor, possui um regulador de tensão, um sistema de armazenamento e um inversor que converte corrente contínua em alternada. Por sua vez, o painel fotovoltaico, que cumpre a função do gerador propriamente dito, é composto por células fotovoltaicas construídas a partir de semicondutores – de silício o mais usado, arseneto de gálio, sulfeto de cádmio ou outros materiais – que, ao receberem a radiação solar sobre sua superfície, geram tensão elétrica em seus terminais.

A energia elétrica acumulada pode ser estocada em baterias convencionais ou usada para produzir hidrogênio para servir de combustível em uma célula a combustível (veremos este item mais detalhadamente) (ROSA, 2007). A figura 06 a seguir mostra o corte transversal de uma célula fotovoltaica:

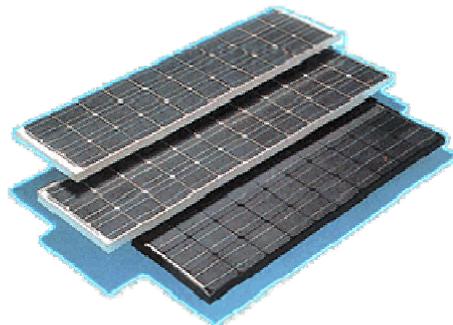


**Figura 06.** Corte transversal de uma célula fotovoltaica

**Fonte:** CRESESB, 2008 – Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/#>

Essa alternativa, porém, ainda tem elevados custos de fabricação e armazenamento, o que dificulta seu uso pelo consumidor comum, sendo ideal apenas em regiões muito isoladas, onde outras alternativas são inviáveis.

Alguns dos principais fabricantes de células fotovoltaicas são: Solar World, ETSolar, Suntech, SunLink, Isofotón, Photowatt, Mitsubishi, Astropower, Kyocera, Sharp, Shell, Siemens, entre outros. A figura 07 abaixo mostra um módulo de painel fotovoltaico:



**Figura 07.** Módulo fabricado pela empresa Siemens

**Fonte:** CRESESB, 2008 – Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/#>

A conversão fotovoltaica apresenta maior impacto visual na configuração arquitetônica. Somado ao conjunto de elementos do edifício a serem esteticamente arranjados, os painéis fotovoltaicos podem tanto se integrar na composição arquitetônica ou servirem como elemento de sombreamento na cobertura ou nas fachadas. As figuras 08 e 09 abaixo mostram alguns exemplos de aplicações de painéis:



**Figura 08:** Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró, Catalunha, Espanha. A fachada e a cobertura somam 600 m<sup>2</sup> de área com painéis solares.

**Fonte:** Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arg000/esp268.asp>



**Figura 09:** Fotos de edifícios com painéis solares

**Fonte:** Antunes, 2004.

De acordo com Schittich, 2003 para conversão fotovoltaica, existem quatro tipos principais de células fotovoltaicas com diferentes coeficientes de eficiência:

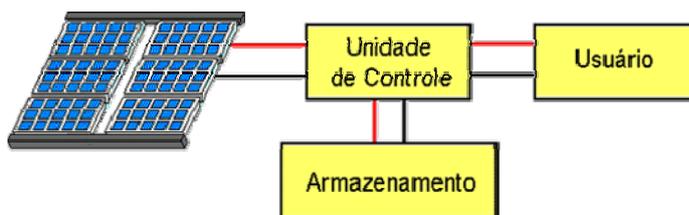
- 1. Células de silício monocristalinas**, com rendimento de 18%, utilizam o silício, um semicondutor caro e que consome mais energia em seu processamento.
- 2. Células de silício policristalinas**, com rendimento de 16%, utilizam um silício de qualidade metalúrgica, mais econômico.
- 3. Células fotovoltaicas amorfas opacas**, com rendimento de 10% e semi-transparentes, com rendimento de 4%. Seu processo de fabricação requer menos material que as outras, e

o produto obtido pode ser aplicado na forma de película em diversos materiais, como vidro, resultando uma maior integração arquitetônica.

**4. Células policristalinas** (transparentes), são uma nova tecnologia com implicações para acuidade visual. Elas criam a impressão de células transparentes, têm um grande potencial técnico e estético. São econômicas em termos de consumo material, e eficiente em termos energéticos.

### Componentes do sistema fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos possuem uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento. A figura 10 a seguir mostra os componentes do sistema:

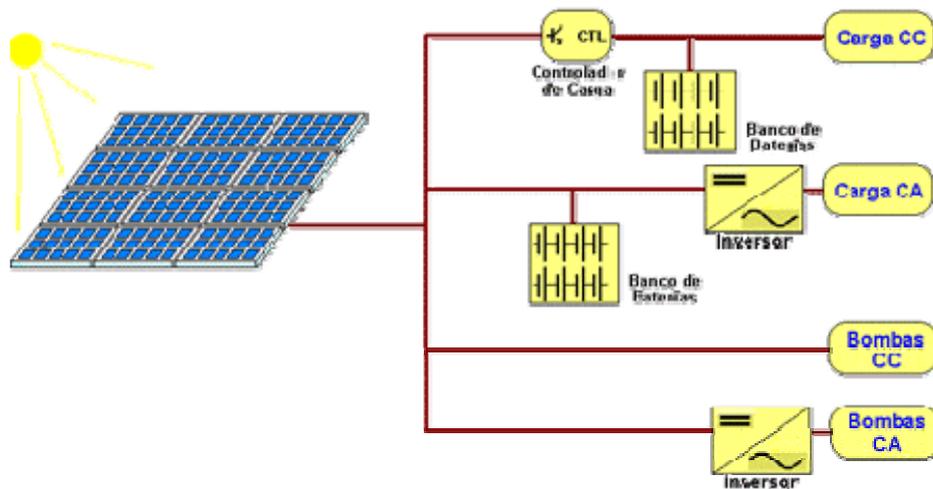


**Figura 10.** Componentes do sistema fotovoltaico

**Fonte:** CRESESB, 2008. Disponível em:  
<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/sundata/index.php>

O sistema fotovoltaico pode ser classificado em 3 tipos: sistemas isolados, híbridos e interligado à rede.

Nos Sistemas isolados deve haver algum armazenador de energia quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou armazena-se na forma de energia potencial quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Usa-se um controlador de carga ou um inversor. A figura 11 a seguir demonstra um diagrama do sistema fotovoltaico:



**Figura 11.** Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada

**Fonte:** CRESESB, 2009. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/sundata/index.php>

Em Sistemas interligados à rede elétrica dispensam o uso de acumuladores de energia (armazenamento), pois atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais geradoras. Podem ser do tipo central fotovoltaica, ou integradas ao prédio urbano.

1. Central fotovoltaica: está normalmente situada em áreas relativamente afastadas dos centros urbanos como ocorre com usinas geradoras de eletricidade convencionais, pois extensas superfícies envolvidas requerem áreas de baixo custo para que a instalação seja economicamente viável. Áreas desertas são muitas vezes utilizadas neste tipo de instalação.
2. Sistemas integrados a prédios urbanos: por outro lado, são incorporados à fachada ou ao telhado do prédio, sendo o único pré-requisito uma orientação solar favorável. Em sistemas fotovoltaicos residenciais interligados à rede elétrica, sempre que o sistema gerar energia excedente em relação ao consumo da residência, este excesso é injetado na rede elétrica pública, e o relógio medidor de consumo gira ao contrário. A geração fotovoltaica pode, neste caso, apresentar vantagens à concessionária elétrica local, no sentido de aliviar picos de consumo na rede, aumentando assim a vida útil do sistema de

transmissão e distribuição e adiando os grandes investimentos e longos prazos de instalação envolvidos na construção de centrais elétricas convencionais.

### **Estocagem da energia solar**

Os sistemas fotovoltaicos ainda se mostram ineficientes devido ao seu alto custo, a sazonalidade da captação da energia solar e o armazenamento dessa energia. É necessário equilibrar a produção de energia de acordo com a demanda de consumo e também desejável que o sistema de armazenamento tenha características compatíveis com as do sistema fotovoltaico, ou seja, ser ecologicamente correto e proporcionar possibilidades de competir com outras fontes de energia.

As baterias são constituídas basicamente por um invólucro, adequado à aplicação, contendo dois eletrodos (um positivo e outro negativo), e um eletrólito, que é o agente que provoca a reação química e transporta elétrons entre eles, transformando, assim, energia química em energia elétrica, quando atuando como fonte, ou o inversor, quando usada como acumulador. Para pequenas aplicações (equipamentos eletrônicos portáteis, de uso pessoal), são geralmente descartáveis (fonte) ou recarregáveis (fonte e acumulador), de eletrólito seco ou gelatinoso. Para grandes aplicações (em sistemas de energia ininterruptível) (*no-breaks*), em paralelo com a rede elétrica convencional ou com fontes sujeitas a interrupções, como as eólicas e as solares, são recarregáveis (acumuladores de energia), de eletrólito líquido ou gelatinoso, agrupadas em conjuntos com vários módulos, conforme a autonomia desejada (HURÉ, 1976).

As Baterias convencionais não são renováveis, podem ser de chumbo-ácido, mais baratas e encontradas facilmente, ou de níquel-cádmio, cujo custo é muito elevado. Deve-se ressaltar que qualquer uma das opções de baterias convencionais o material empregado é altamente poluente (GUENA, 2007).

Assim o sistema solar utilizando baterias convencionais para armazenar a energia, deixa de ser totalmente ecológico. O armazenamento de energia se torna uma barreira para a inserção de novas fontes de energia alternativa e renovável como a energia solar. A

solução seria estocar a energia como forma de hidrogênio, onde a eletricidade produzida pela energia solar é utilizada num eletrolizador e transformada em hidrogênio, onde este é armazenado em forma de gás em cilindros.

#### 5.4. Energia Eólica

Calcula-se que o Brasil tenha um potencial eólico por volta de 60.000 MW, mas esse resultado não é confiável pelas diferentes metodologias empregadas e a falta de informações (dados de superfície) (ANEEL, 2006). A figura 12 abaixo mostra uma turbina eólica:



**Figura 12.** Turbina Eólica, aerogeradores.

**Fonte:** Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2002.

O interesse em aproveitar os ventos certamente não é novo; eles foram uma das primeiras fontes naturais de energia a serem utilizadas. Existem indícios de que moinhos de vento foram utilizados na Babilônia e na China entre 2.000 e 1.700 a.C. para bombear água e moer grãos (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

Com a Revolução Industrial, os moinhos de vento sofreram modificações para se adaptar à velocidade constante necessária para manter o ritmo de produção. Neste período

são criados os primeiros sistemas de controle e de potência que permitiram aperfeiçoar e integrar os moinhos de vento a estas unidades produtivas.

A descoberta de novas tecnologias e o aperfeiçoamento desses sistemas evoluíram até chegar às atuais turbinas eólicas que vem sendo empregada em larga escala nos países desenvolvidos desde o início da década de 1990, normalmente com subsídios governamentais.

As turbinas eólicas transformam a energia cinética em energia mecânica. Esta pode ser utilizada diretamente, por exemplo, como bomba d'água ou transformada em energia através da turbina propriamente dita. Segundo Gauzin-Müller (2003), estima-se que é necessária uma velocidade de vento mínima de 5 m/s para viabilizar a instalação de uma turbina eólica.

O aerogerador (turbina eólica) é composto por um rotor, um sistema de transmissão, um controlador, um conversor e um sistema de armazenamento. O vento faz girar o rotor composto por lâminas ou pás. Este rotor é responsável por converter a energia cinética em energia mecânica. Ele está conectado a uma haste que, por sua vez, está conectada a várias engrenagens de um gerador elétrico, estes são protegidos pela nacela que serve de abrigo para os equipamentos (REIS, 2003).

O sistema de armazenamento de energia é composto por baterias, que captam a energia excedente que não foi consumida, podendo ser utilizada de acordo com a necessidade. No entanto, ocorre o mesmo com o armazenamento da energia solar: as baterias convencionais são altamente poluidoras.

Diante da tendência mundial de favorecer a produção de energia através de fontes renováveis e das pressões para redução das emissões de gases na atmosfera, a energia eólica vem tomando seu lugar de destaque como uma alternativa limpa e livre de emissões atmosféricas. Seus custos de implantação e operação vêm sendo reduzidos com o desenvolvimento tecnológico e o aumento da escala de produção, podendo ser considerada,

mesmo no Brasil, como uma possibilidade de geração de energia rentável e ambientalmente limpa.

Segundo ANEEL, 2009 a capacidade instalada mundial da energia eólica aumentou 1.155% entre 1997 e 2007, passando de 7,5 mil para 93,8 mil MW, como registra a *World Wind Energy Association* (WWEA) na tabela abaixo:

**Tabela 02.** Capacidade instalada mundial de energia eólica

<b>Tabela 5.3 - Potência instalada nos últimos dez anos (MW)</b>		
	<b>Potência (MW)</b>	<b>Crescimento (%)</b>
1997	7.475	-
1998	9.663	29,3
1999	13.696	41,7
2000	18.039	31,7
2001	24.320	34,8
2002	31.164	28,1
2003	39.290	26,1
2004	47.693	21,4
2005	59.033	23,8
2006	74.153	25,6
2007	93.849	26,6
<b>Crescimento total</b>		<b>1.155,5</b>

Fonte: WWEA, 2008.

**Fonte:** ANEEL, Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2002.

Segundo o estudo da WWEA, em 2007 houve a instalação de aproximadamente 20 mil megawatt de geração eólica em todo o mundo. Nesse ano, os maiores produtores foram Alemanha, Estados Unidos e Espanha que, juntos concentravam quase 60% da capacidade instalada total.

A indústria de geradores eólicos cresce atualmente 30% por ano com um retorno de 2 bilhões de dólares por ano. Na Europa a expectativa é que chegue a 10% de toda a energia gerada até 2030 (DE ARAÚJO; FREITAS; ROSA, 2006).

No Brasil, o uso da energia eólica ainda é em pequena escala, especialmente considerando o seu grande potencial. Em 2001, MME através do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), publicou o Atlas Eólico do Brasil. Analisando a figura 13, que

mostra o comportamento do vento no Brasil onde é possível ver o potencial de crescimento para este tipo de geração de energia elétrica, as áreas mais escuras têm maior velocidade média do vento.



**Figura 13.** Velocidade Média Anual a 50 m de altura no Brasil

**Fonte:** Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2005.

O impacto ambiental da energia eólica é praticamente insignificante, sendo seu principal problema a poluição visual, apesar de já existirem algumas preocupações com relação a barulho, acidente com aves migratórias e interferência em aparelhos eletrônicos. Outro problema é quanto a estocagem de energia, que usa baterias convencionais altamente poluentes.

Uma característica positiva das turbinas de vento é o seu curto período de construção, o tamanho reduzido de suas unidades em relação às de outros tipos de geradores de eletricidade (e, desta forma, têm maior adaptabilidade em responder às demandas elétricas) e a sua capacidade de serem adaptadas sob medida aos usos e as localizações específicas. Outra vantagem da energia eólica, especialmente no caso da utilização residencial, é que ela é um excelente complemento para a energia solar: dias com

pouco sol geralmente são aqueles com ventos acima da média (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

## 5.5. Gás Natural

O gás natural é um combustível fóssil encontrado em rochas porosas no subsolo, e é formado basicamente pela decomposição de matérias orgânicas (em geral pré-históricas) soterradas em grandes profundidades ou em pântanos, sob a água, podendo estar associado ou não ao petróleo (UNION OF CONCERNED SCIENTISTS - UCS, 2003). É composto por gases inorgânicos e hidrocarbonetos saturados predominando o metano e, em menores quantidades o propano e o butano, entre outros. Geralmente apresenta baixos teores de nitrogênio, dióxido de carbono, água e compostos de enxofre, permanecendo no estado gasoso sob pressão atmosférica e temperatura ambiente.

A extração do gás natural é muito semelhante à do petróleo, devido ao fato de que o gás encontra-se, na maioria das vezes, dissolvido no próprio petróleo ou formando bolsas de gás sobre os reservatórios petrolíferos (PORTAL GÁS ENERGIA - PGE, 2000). A principal vantagem do gás natural é a combustão mais limpa, resultando em emissões gasosas à atmosfera reduzidas em relação aos demais combustíveis fósseis. O gás natural também não produz resíduos sólidos na combustão, ao contrário das toneladas de cinzas geradas nas plantas termoelétricas a carvão mineral e, devido aos seus baixos teores de contaminantes, apresenta reduzida emissão atmosférica de dióxido de enxofre e particulados (UCS, 2003).

Porém, mesmo apresentando baixas emissões de carbono quando queimado o gás natural em si, isto é, incombusto, é considerado como um alto emissor de carbono quando liberado na atmosfera. O gás natural também apresenta na sua combustão óxidos de nitrogênio (NOX), causadores de chuvas ácidas e fumaças (UCS, 2003).

Atualmente, o transporte do gás natural em grande escala é feito através de gasodutos e, especificamente no Brasil, é realizado por empresas que não comercializam o gás. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), as transportadoras devem se responsabilizar exclusivamente pelos serviços de transporte desde a produção do gás até o ponto de entrega, não lhes sendo permitido comprar ou vender o produto, com exceção dos volumes necessários para consumo próprio (PGE, 2000). A figura 14 abaixo mostra a rede de gasoduto Brasil – Bolívia.



**Figura 14.** Construção do gasoduto Brasil - Bolívia

**Fonte:** ANEEL, 2009.

A utilização do gás natural para fins de produção de energia elétrica é feita fundamentalmente de três formas: turbo alternadores, conjuntos motor-gerador e células a combustível. Os aproveitamentos baseados em células a combustível apresentam vantagens de produzir energia elétrica de alta qualidade ambiental, com eficiências variáveis segundo a tecnologia aplicada. A utilização de gás natural em células a combustível é utilizada desde que exista um processo de extração do hidrogênio do combustível, comumente chamado de reformador (PCE, 2004). Atualmente alternativas mais econômicas como etanol e gás natural, são preferidas em implantações comerciais, porém o rendimento cai para níveis abaixo de 44% pela utilização de reformadores para produção de hidrogênio e outros equipamentos auxiliares (FARRET, 1999).

A reforma do gás natural para obtenção de hidrogênio apresenta-se como a alternativa mais competitiva a curto prazo, dadas as disponibilidades de oferta e de logística

para seu suprimento. Tudo indica que reforma do gás natural para obtenção de hidrogênio será a etapa de transição para uma “economia do hidrogênio” (MME, 2005). Entretanto o principal problema da adoção do gás natural como fonte de energia é que se trata de uma fonte não renovável, tendo capacidade finita de fornecimento.

## 5.6. Etanol

O Brasil tem sido um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar ao longo da história. Em 1975 foi criado o Programa Nacional do Álcool – Proálcool com a finalidade de reduzir a grande dependência do petróleo importado e criar um mercado adicional para os produtores de açúcar, incentivando a indústria automobilística no desenvolvimento e fabricação de carros movidos exclusivamente a álcool (EPE, 2008).

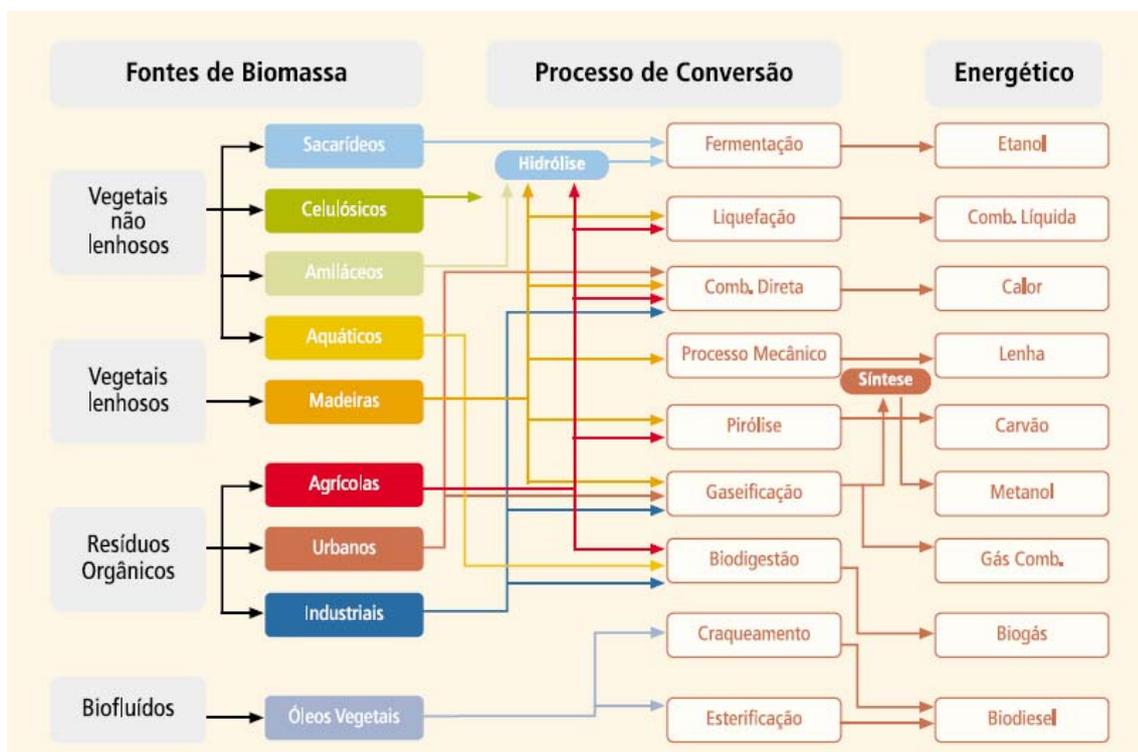
Em 2003 surge no mercado nacional o veículo flex-fuel ou bicomustível, cuja tecnologia permitia o uso de álcool hidratado ou gasolina C, em qualquer proporção da mistura destes, possibilitando ao consumidor final a escolha do energético para abastecer o seu automóvel, essa medida aumentou substancialmente o consumo e permitiu que o etanol competisse com o mercado da gasolina (EPE, 2008).

O Brasil possui vantagens naturais para produção do etanol, tais como, grande disponibilidade de terra arável (cerca de 100 milhões de hectares distribuídos distantes dos biomas naturais - Amazônia) e condições edafoclimáticas propícias à cultura da cana-de-açúcar (EPE, 2008).

O setor sucroalcooleiro gera uma grande quantidade de resíduos, que pode ser aproveitada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração. Ao contrário da produção de madeira, o cultivo e o beneficiamento da cana são realizados em grandes e contínuas extensões, e o aproveitamento de resíduos (bagaço, palha, etc.) é facilitado pela centralização dos processos de produção.

Atualmente, o recurso de maior potencial do etanol para geração de energia elétrica no país é o bagaço de cana-de-açúcar. A alta produtividade alcançada pela lavoura canavieira, acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucroalcooleira, têm disponibilizado enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço nas usinas e destilarias de cana-de-açúcar, interligadas aos principais sistemas elétricos, que atendem a grandes centros de consumo dos estados das regiões Sul e Sudeste. Além disso, o período de colheita da cana-de-açúcar coincide com o de estiagem das principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro, tornando a opção ainda mais vantajosa.

O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). A Figura 15 abaixo apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energéticos.



**Figura 15.** Principais processos de conversão da biomassa em energéticos.

**Fonte:** ANEEL, 2002. Disponível em [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)aneel

O etanol de cana de açúcar é uma fonte de hidrogênio renovável e isso o torna uma fonte prioritária de hidrogênio, produzido por meio de reforma junto ao consumidor, ou até mesmo sendo utilizado diretamente nas CaCs.

O processo de reforma do etanol pode produzir cerca de 1,8 milhões de toneladas de hidrogênio, anualmente, se considerada a produção atual de etanol no Brasil. O país, por ser líder mundial na produção e exportação desse combustível, pode acarretar de ser o maior produtor de hidrogênio a partir do etanol. Isto graças à experiência e a infra-estrutura nacional de produção e distribuição de álcool, consolidadas desde o PRÓALCOOL (MME, 2005).

No entanto, esse processo ainda não é estabelecido comercialmente no Brasil. O reformador é uma tecnologia em fase embrionária de desenvolvimento tanto no Brasil como no exterior. Vários institutos de pesquisa em parceria com empresas estatais e privadas estão desenvolvendo catalisadores de reforma e investindo em projetos de demonstração de sistemas de reforma de etanol para fins energéticos (MME, 2005).

Estes sistemas de geração de energia elétrica constituem-se em uma alternativa com reduzidos impactos ambientais para uso em geração distribuída, agregando vantagens como baixíssima emissão de ruídos e baixa emissão de poluentes, além de representar também uma alternativa para aplicações móveis (veículos).

Nas apresentações do Workshop *Physics and Chemistry of Climate Change and Entrepreneurship*, Richard Pike, executivo-chefe da Royal Society of Chemistry, criticou a opção de investir em biocombustíveis para substituir os derivados de petróleo, sob o argumento de que isso colocaria em risco a segurança alimentar. E sustentou que, no caso da Grã-Bretanha, a energia solar e o combate ao desperdício são as soluções mais sustentáveis para atingir a meta de cortar as emissões em 80% (REVISTA FAPESP, 2009).

No entanto, Pike foi contestado pelo físico José Goldemberg, ex-reitor da Universidade de São Paulo, para quem o diagnóstico do britânico padece de uma “visão

eurocêntrica”. “Aqui no Brasil há terra disponível para plantar cana. É só vocês importarem o etanol do Brasil em vez de produzi-lo”, afirmou.

As células a etanol direto (DEPEMFC- *Direct Ethanol PEM Fuel Cell*), ainda em início de desenvolvimento, apresentam ainda algumas dificuldades, exigindo maior temperatura de funcionamento e diminuindo a eficiência do processo de conversão energética. Ainda assim, resultados preliminares já obtidos com os catalisadores produzidos são bastante animadores.

A escolha do etanol como combustível para as células a combustível aqui no Brasil se reveste de grande importância em decorrência dos seguintes fatores (DINIZ; QUADROS; CARVALHO, 2004):

- Combustível renovável, com emissão de carbono equilibrado no ciclo de vida da cana-de-açúcar;
- Vocação nacional com domínio tecnológico já consolidado;
- Logística de produ o e distribui o estabelecida e vasta;
- Custo de produ o relativamente baixo;
- Desenvolvimento inédito mundial;
- Possibilidade de migra o para o setor veicular

## 5.7. Hidrogênio

O elemento H<sub>2</sub> é abundante e compõe 75% da massa do Universo e 90% de suas moléculas, como a água (H<sub>2</sub>O) e as proteínas nos seres vivos (DOE, 2008). No planeta Terra, compõe aproximadamente 70% da superfície terrestre. Porém o hidrogênio não é uma fonte primária de energia, ele pode ser gerado de diversas fontes primárias de energia através de processos artificiais (SILVA, 1991).

O mundo está se movendo em direção a um futuro de energia sustentável. Neste contexto, o hidrogênio pode revolucionar a forma como a energia é utilizada e distribuída hoje em dia. Ele tem sido considerado o “combustível perfeito”, pois não é poluente e pode ser produzido a partir da energia solar ou eólica, e água, oferecendo para a humanidade uma fonte inesgotável de energia limpa (CGEE 2002).

Cresce no mundo um movimento em favor de uma “economia do hidrogênio”. Esta expressão refere-se a um sistema de energia baseado no hidrogênio como matriz energética, englobando a obtenção, armazenamento, distribuição e sua utilização. A proposta da adoção da Economia do Hidrogênio é para interromper o ciclo contínuo de liberação de hidrocarbonetos na atmosfera terrestre. O termo foi cunhado pela empresa americana *General Motors* em 1970, e captou a imaginação da imprensa popular até os dias atuais (CGEE 2002).

### 5.7.1. Histórico

O hidrogênio foi identificado no século XVI pela primeira vez. Seu uso aumentou durante a I Guerra Mundial, e sua utilização em larga escala foi a partir da IIGM. Mas foi na década de 1960, com os programas espaciais, é que a utilização do hidrogênio ganhou maior importância.

Com a mudança do papel do hidrogênio de insumo químico destinado principalmente à indústria petroquímica para vetor energético, pesquisas quanto à forma de produção, transporte e armazenamento desse elemento estão sendo cada vez mais praticadas.

A carreira do uso do H<sub>2</sub> como combustível ecológico tem atraído muitas atenções nas últimas décadas como solução dos problemas de energia e poluição ambiental. Conforme Silva, E.P. (1991), o hidrogênio é considerado um dos mais promissores combustíveis para substituir os derivados do petróleo.

A energia baseada no hidrogênio (eletrolisador, estocagem de H<sub>2</sub> e uso na célula a combustível) é uma excelente opção para estocagem e geração de eletricidade utilizando fonte renováveis de energia para produção de hidrogênio assim como a solar, a eólica, biomassa, etc. No Brasil existem duas fontes limpas e renováveis onde se pode extrair o hidrogênio as quais são:

- 1) energia solar, através da eletrólise da água;
- 2) reforma do etanol da cana-de-açúcar, ambos os processos veremos mais a seguir.

### 5.7.2. Propriedades Físicas

O hidrogênio é um gás inodoro e incolor, na pressão e temperatura ambiente. Sua densidade é 0,0899 g.l-1. Ele evapora a  $-252,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O hidrogênio líquido tem uma densidade de 70,99 g.l-1. Com estas propriedades, ele tem a maior relação energia por peso de todos os combustíveis: 1 kg de hidrogênio contém a mesma quantidade de energia de 2,1 kg de gás natural ou 2,8 kg de gasolina. A energia em relação ao volume alcança cerca de  $\frac{1}{4}$  daquele do petróleo e  $\frac{1}{3}$  daquele para o gás natural. A água consiste de 11,2% de hidrogênio em peso.

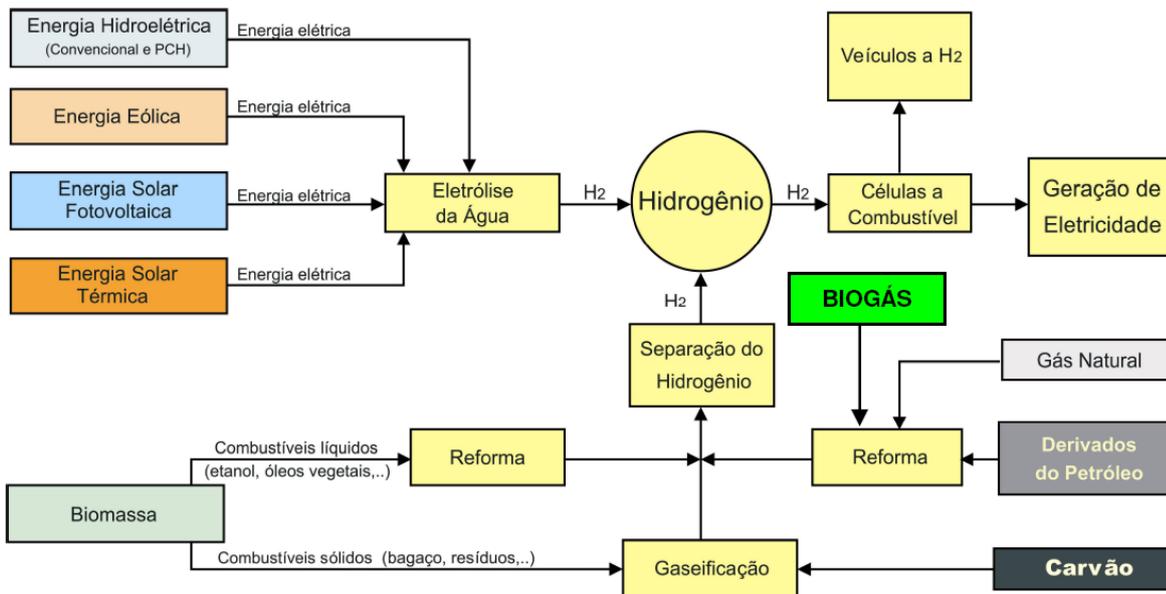
O hidrogênio queima no ar na faixa de concentração de 4 à 75% por volume (o metano queima a uma concentração por volume de 5,3 à 15% e o propano a 2,1 à 9,5%). A mais alta temperatura de queima do hidrogênio, de  $2.318\text{ }^{\circ}\text{C}$  é alcançada em concentrações de 29% por volume, enquanto que o hidrogênio em uma atmosfera com oxigênio pode alcançar temperaturas de queima de até  $3.000\text{ }^{\circ}\text{C}$  (a mais alta temperatura alcançada pelo metano é  $2.148\text{ }^{\circ}\text{C}$  e o propano  $2.385\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

A energia mínima requerida para ignição do hidrogênio para uma mistura estequiométrica combustível/oxigênio é para o hidrogênio 0,02 mJ, para o metano 0,29 mJ e para o propano 0,26 mJ. As temperaturas para a combustão espontânea do hidrogênio, metano e propano são  $585\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $540\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $487\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente (SILVA, E. P., 1991).

### 5.7.3. Fontes de Hidrogênio

Uma das principais vantagens da utilização do hidrogênio como uma infra-estrutura de energia, é a diversidade de fontes energéticas para a sua obtenção. Entre essas fontes primárias de energia pode-se destacar: carvão, energia solar e eólica, água (H<sub>2</sub>O); biogás a partir da biomassa (rico em gás metano – CH<sub>4</sub>); biogás a partir do lixo urbano (rico em gás metano – CH<sub>4</sub>); gás natural (rico em gás metano – CH<sub>4</sub>); petróleo e derivados; etanol e metanol a partir da biomassa; biodiesel; amônia; hidrogênio produzido por algas; glicerol.

Para que o hidrogênio se torne uma fonte de energia de fato ecologicamente correta, a sua produção deve ser a partir de fontes renováveis de energia, o que atualmente não acontece. De acordo com o DOE (2008), somente 5% (20 bilhões de m<sup>3</sup>) do hidrogênio é produzido atualmente a partir destas fontes renováveis. A próxima figura 16 apresenta de forma esquemática a produção de hidrogênio através de diversas formas de energia:



**Figura 16:** Esquema de Produção de Hidrogênio a Partir de Diferentes Formas de Energia.

**Fonte:** Perez, 2002.

Conforme Deluchi, 1988 os principais processos de geração do hidrogênio são os seguintes:

1. Reação de oxidação parcial de hidrocarbonetos pesados;
2. Gaseificação do carvão em altas temperaturas;
3. Processo térmico;
4. Processo termoquímico;

Como se pode notar esses processos acima deixam de ser interessante, pois geram gases nocivos a atmosfera e são dependentes de combustíveis fósseis.

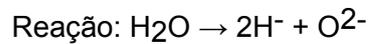
5. Processo fotoeletrolítico: este processo não é nocivo ao meio ambiente, porém seu rendimento é muito baixo.
6. Reformas: O método de maior custo-benefício utilizado na manufatura industrial de hidrogênio é a reforma de hidrocarbonetos na presença de vapor. Células a combustível geralmente funcionam a hidrogênio, e qualquer material rico em hidrogênio pode servir como fonte de combustível. Podem ser utilizados combustíveis como metanol, **etanol**, gás natural, destilados de petróleo, propano líquido, metano, carvão gaseificado, etc. O hidrogênio é produzido a partir deste material pelo processo de reforma. Este processo é extremamente útil quando não é possível transportar e armazenar o hidrogênio. O processo de reforma pode ser interno, quando efetuado na célula de hidrogênio ou externo quando realizado externamente a esta. O hidrogênio pode ser obtido a partir da reforma de **gás natural** e vapor na presença de um catalisador a uma temperatura inicial de 760 oC. A reação é endotérmica, o que significa a necessidade de consumo de energia. As temperaturas de operação das células de carbonato fundido e óxidos sólidos são suficientes para que este processo ocorra dentro das células, sendo o processo denominado reforma interna. A velocidade da reação de reforma é determinada pelo decréscimo de hidrogênio à medida que a célula produz energia. A reforma interna pode ser benéfica à eficiência do sistema uma vez que utiliza o calor gerado pela reação exotérmica da célula, na reação endotérmica de reforma (CHBC, 2002). Com este tipo

de tecnologia elimina-se o uso de um reformador externo e a eficiência do sistema aumenta, entretanto a configuração da célula é mais complexa assim como sua manutenção. Nas células que trabalham a uma temperatura mais elevada podem ser utilizados tanto processos de reforma interna quanto externa, de combustíveis. A baixa velocidade de reação de reforma faz com que processos de reforma interna sejam impraticáveis em células que operam a baixas temperaturas, sendo que neste caso é necessário um reformador externo. No caso do Brasil, considerando a enorme capacidade instalada de etanol, o desenvolvimento de reformadores a etanol parece ser uma estratégia adequada à realidade do país.

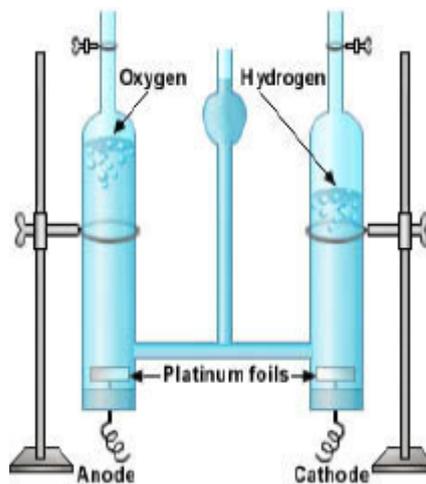
7. Eletrólise da água: dada a importância deste processo no trabalho, ele será analisado mais detalhadamente no próximo item.

#### 5.7.4. Eletrólise da Água

Segundo Silva, E. P. (1991), o processo consiste em passar uma corrente elétrica na água na presença de eletrodos inertes em meio condutor básico ou ácido. As reações produzidas têm como resultado a decomposição da água. Os elementos resultantes desse processo sempre será o hidrogênio e o oxigênio, seja qual for o sistema como pode ser verificado na equação abaixo:



A figura 16 abaixo mostra o processo de eletrolise da água, o primeiro vidro corresponde ao oxigênio e ao anodo, o segundo vidro ao hidrogênio e ao catodo e no meio há uma placa de platina:

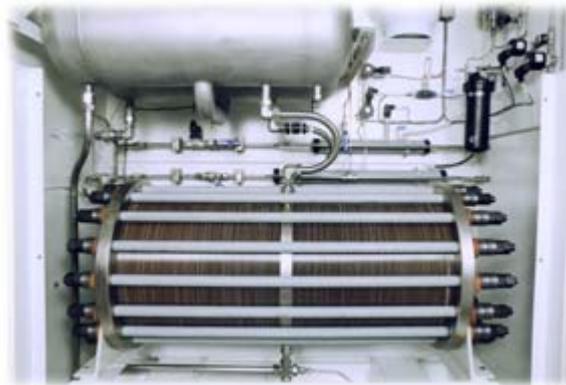


**Figura 16.** Eletrolise da água

**Fonte:** SILVA, WICAC 2006.

Os eletrolisadores são conhecidos a mais de 50 anos, mas foi a partir da década de 60, com o desenvolvimento da indústria aeroespacial pesquisas avançadas em torno da eletrolise da água para obtenção do hidrogênio começaram a surgir com mais vigor.

Para que o processo aconteça necessita-se de um equipamento chamado eletrolisador, que pode ser classificado em duas categorias, os convencionais, desenvolvidos durante a primeira metade do século XX e avançados os quais se encontram em desenvolvimento tecnológico (SILVA, E. P., 1991). A figura 17 abaixo mostra um eletrolisador:



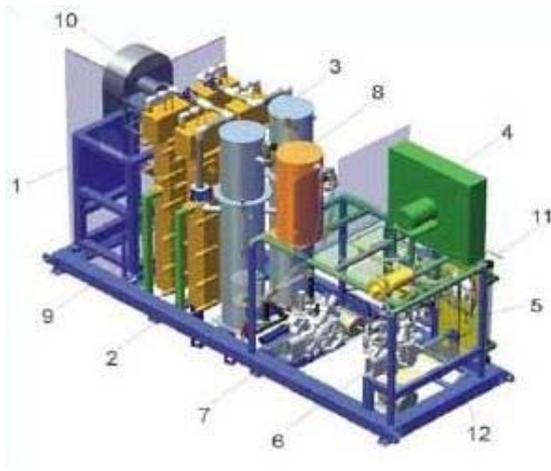
**Figura 17.** Eletrolisador do tipo filtro prensa modelo H2 IGEN®

**Fonte:** Stuart Energy Systems, 2008.

Disponível em <http://www.stuartenergy.com/>.

Os maiores fabricantes mundiais de eletrolisadores atualmente são as empresas: *Norsk Hydro, Teledyne Energy Systems, Próton Energy Systems e Stuart Energy Systems.*

Os principais componentes do processo de eletrolise são o eletrolisador, a unidade de potência, o separador de gases, a unidade de purificação e as unidades de armazenamento (SILVA, E. P., 1991). Os componentes são ilustrados na figura 18 seguinte:



1. Retificador e Painel de Controle
2. Eletrolisador
3. Separador de gases
4. Sistema de Refrigeração
5. Desumidificador e Purificador
6. Compressor de serviço
7. Compressor reserva
8. Vaso de Pressão
9. Deionizador
10. Sistema de Ventilação
11. Ponto de entrega do Hidrogênio
12. Detector de Vazamento de Hidrogênio.

**Figura 18.** Principais componentes de um Eletrolisador

**Fonte:** Stuart Energy, 2008.

Disponível em <http://www.stuartenergy.com/>.

O processo de eletrólise da água para a produção de hidrogênio é conhecido e utilizado por várias indústrias no Brasil, quais sejam: empresas que demandam hidrogênio como insumo químico, alimentícias e petroquímicas, ou empresas que utilizam processos eletrolíticos para a obtenção de outros produtos, tais como a produção de cloro e soda cáustica, gerando hidrogênio como subproduto. 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 (MME, 2005).

No momento existem projetos de demonstração sendo desenvolvidos por universidades e empresas de energia para a geração de hidrogênio eletrolítico para aplicações energéticas. O país conta também com plantas eletrolíticas importadas, que produzem hidrogênio com diversos fins industriais. Alguns laboratórios brasileiros têm mais de 20 anos de experiência nas áreas de geração, purificação e compressão de hidrogênio eletrolítico.

Em relação à geração hidráulica, o armazenamento de hidrogênio traz outras vantagens, uma alternativa bastante interessante aqui no Brasil para se fazer a eletrólise da água é quando a energia que chega às barragens é superior à energia gerada, elas são

obrigadas a verter o excesso de água. Por outro lado, a água que seria vertida poderia ser usada em eletrolisadores, levando ao aproveitamento pleno da capacidade de novas usinas. Nos momentos de alta demanda energética (nos horários de picos) a energia estocada na forma de hidrogênio poderia ser utilizada (MME, 2005).

Atualmente uma das principais causas que dificultam a utilização do hidrogênio como matriz energética é o seu armazenamento.

### 5.7.5. Armazenamento

O armazenamento ideal para o hidrogênio seria um tanque de combustível que armazenasse a maior quantidade de energia possível com o mínimo de peso, volume e custo e com máxima segurança possível.

O hidrogênio pode ser armazenado na forma de gás comprimido, onde a sua densidade é baixa e suas moléculas muito pequenas que podem escapar dos tanques; na forma de líquido, mas para isso necessita de uma temperatura para resfriar e mantê-lo à 255°C negativos. Outro meio de estocá-lo é através de hidretos metálicos, mas é uma opção cara, muito volumosa e pesada (SILVA, 1991). As formas de armazenamento são descritas abaixo:

#### **A. Gás Comprimido**

Os sistemas de armazenamento de gás em alta pressão é a forma mais comuns e desenvolvida para armazenar o hidrogênio. A maioria dos protótipos automobilísticos armazena o hidrogênio gasoso em cilindros. Os equipamentos necessários são um compressor e um vaso de pressão. A desvantagem deste sistema é a baixa densidade de armazenamento que depende da pressão, quanto maior for a pressão mais caros e volumosos são os materiais utilizados, pois senão haverá vazamento de gás.

O gás pode ser armazenado em cilindros esféricos de ligas de alumínio e fibras de carbono. Cilindros em fibra de vidro são mais baratos, no entanto são mais pesados. Um dos principais fabricantes é a empresa canadense *Dynetek*, que possui em sua linha de produtos tanques para armazenamento de hidrogênio comprimido na faixa de 3000 a 5000 psi (200 e 350 bar). O armazenamento do hidrogênio como gás pode ser subterrâneo, dependendo da geologia da área (SILVA, 1991). A figura 19 abaixo mostra cilindros de liga de alumínio para armazenamento de hidrogênio:



**Figura 19.** Cilindros Esféricos de ligas de alumínio para armazenamento de hidrogênio

**Fonte:** Dynetek Ltda., 2008  
Disponível em: [www.dynetek.com](http://www.dynetek.com)

Além dessas formas de armazenamento do gás hidrogênio, o gás ainda pode ser transportado através de gasodutos, mas problemas relacionados à longa extensão e manutenção da rede dos dutos, se mostram como desvantagens. Seria necessário um forte apoio governamental à infra-estrutura do gás.

## **B. Hidrogênio Líquido**

O hidrogênio se liquefaz a  $-255^{\circ}\text{C}$  e 2 bar de pressão. O tanque de armazenagem do líquido é esférico (evita troca de calor) e feito com paredes duplas com vácuo entre elas para um bom isolamento térmico, evitando a evaporação do líquido, que é a maior preocupação em relação a esse tipo de armazenagem.

Este processo de armazenagem tem como desvantagem o alto custo para transformar e manter o hidrogênio no estado líquido, e também o custo com as perdas de uma fácil evaporação e o volume dos tanques esféricos (SILVA, 1991). A figura 20 abaixo mostra uma Central de armazenagem de hidrogênio líquido em tanques:



**Figura 20.** Central de armazenamento de hidrogênio líquido

**Fonte:** AmbienteBrasil, 2008. Disponível em:

[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/celula\\_combustivel/armazenamento\\_de\\_hidrogenio.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/celula_combustivel/armazenamento_de_hidrogenio.html)

### **C. Compostos Intermediários - Hidretos Metálicos**

O princípio de armazenamento através de hidretos metálicos é baseado em alguns metais (magnésio, níquel, ferro ou titânio) ou ligas metálicas (ferrotitânio, lantânio-níquel-alumínio) que absorvem o hidrogênio gasoso sob condições de alta pressão e temperatura moderada para formar os hidretos metálicos. Esses metais liberam o gás hidrogênio quando aquecidos em baixa pressão e em alta temperatura. Resumindo, os metais absorvem e liberam o hidrogênio como uma esponja (AMBIENTEBRASIL, 2008).

Um dos problemas desse sistema é a baixo rendimento energético, porém é bastante seguro, pois não há o risco de vazamento devido às partículas de hidrogênio se manter associadas (SILVA, 1991). A figura 21 a seguir demonstra um hidreto metálico com o hidrogênio armazenado:



**Figura 21:** Hidrogênio armazenado na forma de hidreto metálico

**Fonte:** AmbienteBrasil, 2008. Disponível em

<http://www.ambientebrasil.com.br>

### 5.7.6. Segurança

O hidrogênio em grandes quantidades vem sendo usado há muitos anos com segurança em aplicações na indústria química e metalúrgica e de alimentos, além do programa espacial norte-americano.

Como todos os combustíveis, o hidrogênio pode ser utilizado com manejo apropriado e instrumentos especificamente projetados para seu controle, tais como detectores de hidrogênio que analisam a concentração de H<sub>2</sub> no ambiente e possibilitam sua monitoração (DOT-UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 1999).

É uma substância atóxica, insípida inodora e incolor e em contato com o oxigênio em ambiente fechado torna-se extremamente inflamável devido à velocidade de queima da sua chama. Por isso, a arquitetura do local onde o hidrogênio é armazenado ou manuseado é muito importante, devendo ser bem ventilado (SILVA, 1991).

O hidrogênio tem a mais alta faixa de inflamabilidade entre alguns combustíveis, de 4 a 75% de concentração no ar, mas a sua alta difusibilidade no ar tende a reduzir o período em que um grande volume de gás apresenta-se na faixa de inflamabilidade, reduzindo o risco de ignição com o tempo. Como o hidrogênio é um gás muito leve, tende a subir e com uma ventilação adequada no teto da instalação, tende a escapar rapidamente para o ambiente exterior, evitando problemas de explosão.

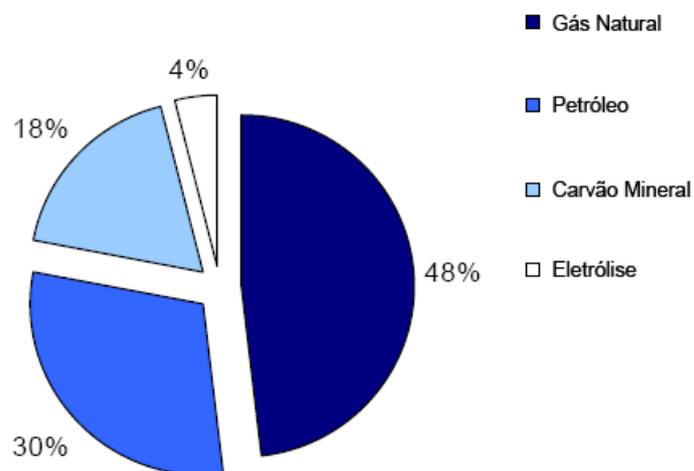
Uma das vantagens do hidrogênio é o fato de ter um coeficiente de difusão bem alto, ou seja, pode se dispersar rapidamente pelo ar e raramente ocorre a sua explosão ao ar livre. Quanto ao armazenamento em cilindros, eles são resistentes e projetados para suportarem até 3 vezes a pressão aconselhada. O vazamento de hidrogênio durante seu transporte, não causa catástrofes ambientais como ocorre em navios petroleiros (PORTAL H<sub>2</sub>, 2009).

### 5.7.7. Considerações Finais sobre o Hidrogênio

O hidrogênio processado a partir de combustíveis fósseis não pode ser considerado uma fonte limpa e renovável de energia. O hidrogênio ainda não tem condições de ser adotado em larga escala, pois necessita mostrar-se mais competitivo, o que é dificultado pelo desafio da própria economia de escala.

Embora o uso energético do hidrogênio seja pequeno no mundo, sua produção para consumo industrial é significativa. No Brasil, a quantidade de hidrogênio de uso industrial é bastante expressiva nas indústrias de petróleo, alimentícia, de fertilizantes e de aço. Em 2002 foram produzidas 425 mil toneladas de hidrogênio no Brasil. Em 2004, a produção cresceu, sendo que apenas a Petrobrás ultrapassou 180 mil toneladas/ano de hidrogênio produzido nas refinarias de petróleo<sup>15</sup> (MME, 2005).

Atualmente, são produzidos aproximadamente 40 milhões de toneladas de gás de hidrogênio por ano, o que corresponde a 5 EJ equivalente a 1% da energia primária global. Mas a maior parte desse gás não é utilizada para fins de geração de energia, 40% é utilizado em processos da indústria química, 40% em refinarias e 20% em outros usos (ex., indústria alimentícia). A produção mundial de H<sub>2</sub> é mostrada na figura 22 a seguir:



**Figura 22:** Produção mundial de hidrogênio.

**Fonte:** Serra, 2006.

No entanto, de qualquer forma a humanidade tem que se preparar para uma era pós energéticos fósseis, e para isso é necessário haver uma política de apoio que incentive o desenvolvimento e o uso de combustíveis renováveis, através de controles, leis e taxações sobre emissões de poluentes.

A Figura 23 abaixo apresenta curvas com o consumo de energia em porcentagens de utilização das principais fontes de energia através dos tempos e as perspectivas para o futuro. As curvas, até os anos 90s, apresentadas nessa Figura 23 mostram dados obtidos do consumo real (linha tortuosa até fim dos anos 90s) em comparação com aqueles obtidos por simulação logística em computadores (linha reta que vai até fim do século 21). A partir dos anos 1990 as curvas seguem apenas com dados obtidos por simulação em computadores. De acordo com os resultados mostrados na Figura o uso do petróleo como fonte de energia passa por um pico máximo no fim dos anos 1990. No início desse século a utilização do hidrogênio e do gás natural aumentará consideravelmente, porém o gás natural também passará por um pico, como no caso do petróleo, e o hidrogênio será a principal fonte de energia do século XXI:

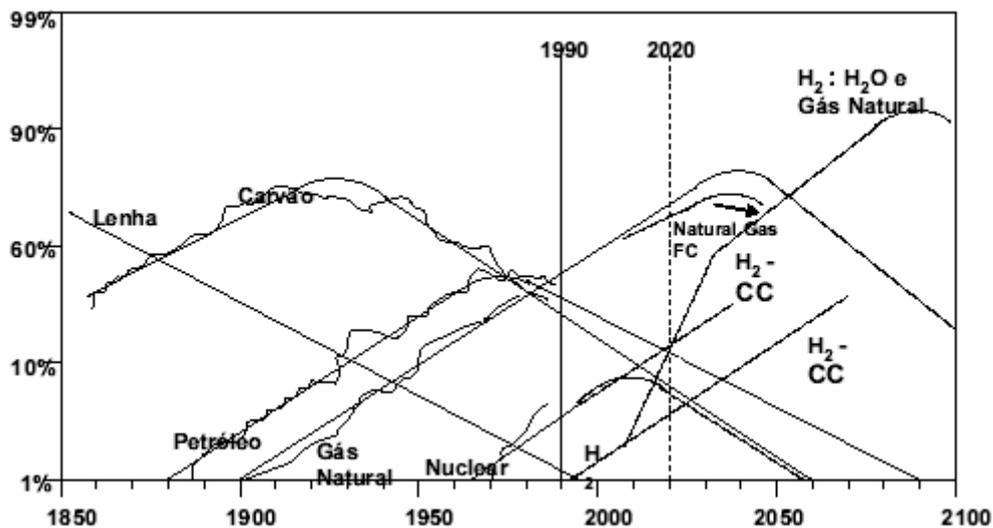


Figura 23. Gráfico da Utilização das fontes de energias desde 1850.

Fonte: UNITECH LTDA, 2009.

O incentivo para a troca de combustíveis fósseis deve privilegiar os combustíveis substitutos futuros para que eles possam ir ocupando espaço no mercado, e servindo de experiência para seu desenvolvimento econômico e técnico, contribuindo com a não degradação do meio ambiente (DOT, 1999).

De acordo com o DOE, 2008 os principais desafios para uma infra-estrutura de energia do hidrogênio são:

- ✓ Custo;
- ✓ Armazenamento de hidrogênio;
- ✓ Produção e entrega do hidrogênio;
- ✓ Aceitação pública.

Apesar da energia cedida pelo hidrogênio ser menor do que a energia total utilizada na sua obtenção, ele apresenta vantagens importantes que o qualificam como um dos combustíveis que irão, certamente, substituir os derivados do petróleo.

Os desafios inerentes ao desenvolvimento da Economia do Hidrogênio, não só no Brasil, mas em todo mundo, embora sendo expressivos não configuram dificuldades intransponíveis. Ao contrário, apontam um elenco de oportunidades que farão surgir no país novas empresas de bens e serviços assim como a focalização das atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Suporte Tecnológico, indispensáveis para dar sustentabilidade aos negócios relacionados à nova economia.

O MME está atuando 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.

Ao contrário, o gás natural, por contar com tecnologias em estágio mais avançado de desenvolvimento, deverá apresentar maior participação na produção, configurando-se como o energético de transição para a economia do hidrogênio renovável. A partir de 2020, o

hidrogênio produzido no Brasil deverá ser majoritariamente produzido a partir das energias renováveis. As aplicações para o hidrogênio na matriz energética brasileira são:

- Geração distribuída de energia elétrica nos centros urbanos;
- Transporte urbano, coletivo e de carga;
- Armazenamento de energia na forma de hidrogênio;
- Atendimento às comunidades isoladas.

De acordo com o Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil (2005) numa primeira etapa, o hidrogênio será usado para atender as comunidades isoladas na Amazônia caracterizadas pelo difícil acesso a combustíveis. O hidrogênio será produzido por eletrolisadores alimentados diretamente por energia solar ou através de reformadores de gás natural, onde este energético estiver disponível, como é o caso das comunidades ao longo do gasoduto Coari-Manaus. Neste caso, o sistema irá atender comunidades de menos de 10 residências, suprindo energia para bombeamento, iluminação, sistemas de informática, geladeiras, rádio, TV e outros eletrodomésticos.

## 5.8. Célula à Combustível

As células a combustível (CaC) são dispositivos que convertem energia química de certos combustíveis diretamente em energia elétrica, térmica (calor) e água. Nesse processo não há a combustão. Os combustíveis usados nas células podem ser o hidrogênio, gás natural, etanol, metanol, entre outros (CGEE, 2002).

As células a combustível são similares às baterias convencionais, que fornecem eletricidade em corrente contínua a partir de uma reação química. No entanto, as baterias convencionais precisam ser recarregadas, ao contrário das células a combustível, que fornecem energia elétrica indefinidamente enquanto forem abastecidas por um combustível (CGEE, 2002).

### 5.8.1. Histórico

As células a combustível são conhecidas mais de 150 anos, apesar da alta tecnologia empregada para seu funcionamento.

De acordo com RIFKIN, 2003 a descoberta das CaCs antecede a do motor de combustão interna, sendo relatada pela primeira vez em 1839 pelo britânico William Grove. A “bateria voltaica gasosa” como era chamada, convertia diretamente a energia química do hidrogênio e oxigênio em energia elétrica na forma de corrente contínua, utilizando um ânodo e um cátodo de platina imersos em ácido sulfúrico. A descoberta foi baseada na reversibilidade termodinâmica da eletrólise da água, cuja reação é demonstrada a seguir:



William Grove detectou uma corrente elétrica contínua fluindo pelos condutores de uma célula eletrolítica ao desligar a eletrolise por um curto intervalo de tempo, suprindo seus eletrodos com hidrogênio e oxigênio. Em 1889, os cientistas Ludwig Mond e Charles Langer introduziram melhorias e a bateria passou a ser chamada de “célula a combustível”.

Em 1932 Francis Bacon empregou um eletrólito alcalino menos corrosivo em uma célula hidrogênio-oxigênio, e deste modo pôde empregar eletrodos mais baratos de níquel, substituindo os de platina.

Durante a Segunda Guerra Mundial foram intensivamente estudadas para serem usadas em submarinos da marinha inglesa. Embora fossem extremamente caras, as células a combustível começaram a ser usadas a partir de 1950 em missões espaciais como Gemini e Apollo da **NASA** (Agência Espacial Americana) fornecendo energia para as tripulações. Essas missões despertaram de vez o interesse na energia gerada através das células a combustível na década seguinte.

No início dos anos 70, quando aconteceu a primeira crise do petróleo, pesquisas de desenvolvimento de novos sistemas conversores de energia se intensificaram, entre eles estavam as células combustíveis (AMARAL, 1994).

### 5.8.2. Funcionamento

O princípio de funcionamento das células a combustível está baseado em reações eletroquímicas onde ocorre a oxidação direta de um combustível (mais comum é o hidrogênio) e a de redução de um oxidante (mais comum o oxigênio). O hidrogênio se oxida no ânodo produzindo elétrons e prótons. O próton migra através do eletrólito na direção do cátodo. Os elétrons circulam por um circuito externo na direção do cátodo. No cátodo ocorre a formação de água (UTC FUEL CELLS, 2008). Veja a seguir a figura 25 ilustrando o funcionamento de uma célula:

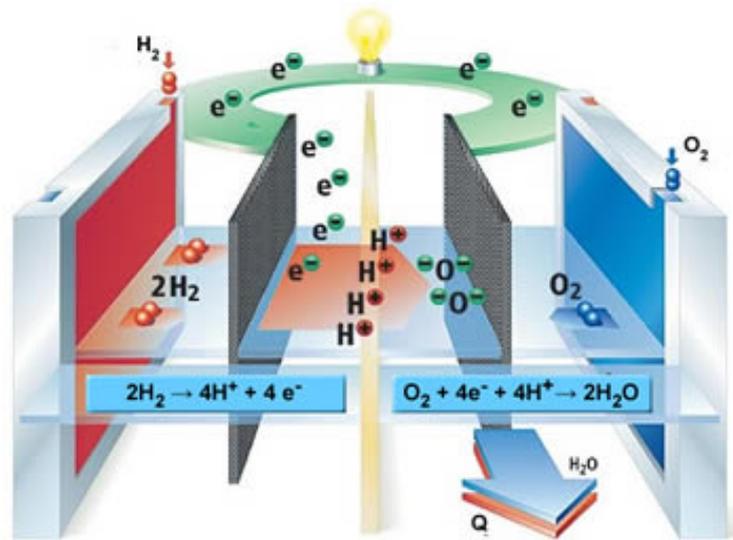


Figura 25. Funcionamento de uma Célula a Combustível

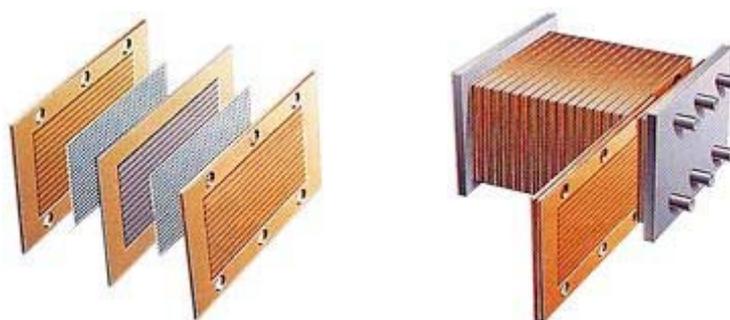
Fonte: IPEN, 2009. Disponível em <http://www.ipen.br/sitio/?idm=59>

### Partes de uma célula à combustível (do tipo PEM)

1. **Ânodo** - pólo negativo da CaC que desempenha vários papéis. É onde ocorre a oxidação do hidrogênio gasoso, onde os íons  $H^+$  resultante dessa reação é transportado via eletrólito até o cátodo, e os elétron oriundos da reação alcançam o catodo por um circuito externo originando assim uma corrente elétrica.
2. **Cátodo** – enquanto isso o catodo, pólo positivo da célula a combustível, recebe os íons  $H^+$ , advindos do anodo, que recombina com o oxigênio e os elétrons da corrente externa, através de uma reação eletroquímica para formar água.
3. **Eletrólito** - é a membrana trocadora de prótons. A membrana se comporta como eletrólito responsável por transportar o íons  $H^+$  do anodo para o catodo. Ela é um isolante elétrico. A membrana mais comum é um politetrafluoretileno dopado com grupos sulfônicos onde os prótons estão localizados.

4. **Catalisador** - é um material especial que facilita a reação entre o oxigênio e o hidrogênio. Geralmente é feito de pó de platina de alta área superficial suportada em papel de carbono poroso ou tecido. Dessa maneira é possível maximizar área superficial da platina seja exposta ao hidrogênio e ao oxigênio. A face do catalisador fica em contato com a membrana condutora.
5. **O Conjunto** – a potência é determinada pela quantidade de células empilhadas e pela suas respectivas áreas dos eletrodos. Usualmente as células a combustível são montadas no modelo filtro prensa utilizando placas separadoras bipolares, que de um lado circula o hidrogênio e do outro o oxigênio. Cada célula empilhada produz aproximadamente 0,6Volts em densidade de corrente de 0,3 A/cm<sup>2</sup>. (CHBC, 2008).

As partes de uma célula a combustível podem ser vistas na figura 26 abaixo:

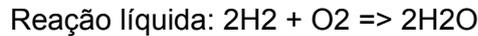
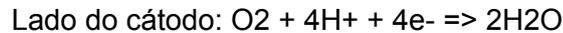


**Figura 26.** Partes de uma célula a combustível

**Fonte:** Gonzalez, 2002 – WiCaC 2002.

As características ideais das placas são: boa condutividade eletrônica e térmica; impermeabilidade ao hidrogênio, oxigênio e água; resistência mecânica para suportar compactação; neutralidade química; baixo custo; resistência a temperatura de operação da célula; pouca espessura possibilitando canais de fluxo gasosos de ambos os lados sem que ocorram vazamentos externos (CONTADINI, 2002).

### **Reações químicas que acontecem na CaC:**



Como pode ser observado acima o funcionamento da célula a combustível é produzir energia baseado em reações eletroquímicas não havendo processo de queima como ocorre nos processos a combustão interna. Ao contrário das baterias eletroquímicas, a energia química é armazenada fora da célula onde ocorre a reação.

Uma vez que o combustível é convertido diretamente em eletricidade a CaC pode operar com eficiência maior quando comparadas com os motores a combustão interna que passam sob o Ciclo de Carnot (UTC FUEL CELLS, 2008).

Diferente das baterias convencionais as células a combustível não acumulam energia, apenas transformam o hidrogênio e o oxigênio através de uma reação eletroquímica formando água, energia e calor. Portanto não é emitido nenhum gás prejudicial à atmosfera, como na queima de combustíveis fósseis que emitem monóxido de carbono, óxidos de enxofre, hidrocarbonetos, material particulado, entre outros, auxiliando o aquecimento global.

### **5.8.3. Tipos de Célula à Combustível**

Existem vários tipos de CaCs em diferentes estágios de desenvolvimento. As CaCs são classificadas de acordo com o tipo de eletrólito utilizado, as siglas estão no idioma inglês e são internacionalmente reconhecidas (FC – Fuel Cell).

- 1. Alcalina (AFC)** – É bastante utilizada pela NASA para produzir eletricidade e água potável para os astronautas. Foi utilizada pela nave Apollo. Esse tipo de célula atinge eficiência de geração de energia entre 55 e 60 %. O eletrólito utilizado é uma solução de 85 % de peso KHO, quando operada à 250°C, ou 30-50% de KHO quando a temperatura for inferior a 120°C. a reação do catodo é mais rápida em solução alcalina, o que aumenta a eficiência da célula. Uma grande série de eletrolisadores pode ser usada Ni, Ag, óxidos metálicos, etc. O CO provoca o “envenenamento” do catalisador e o CO<sub>2</sub> reage com KHO formando K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e alterando a composição do eletrólito (CHBC, 2002). Por causa desse motivo as células AFC são mais indicadas para indústria aeroespacial. Até recentemente as CaCs AFC eram muito caras para aplicações comerciais, agora as pesquisas envolvendo esse tipo de célula estão direcionadas para baratear a tecnologia. A potência da célula vai de 300W à 5 KW (FUEL CELLS 2000, 2008).
- 2. Membrana de Troca de Prótons (PEMFC)** – tecnologia que opera a temperaturas relativamente baixa entre 60 à 80 °C é a que esta mais próximo de comercialização. A membrana/eletrólito de troca de prótons é plástica e permite a passagem dos íons de hidrogênio. Esta membrana é coberta em ambos os lados por partículas metálicas finamente divididas. A membrana é um polímero orgânico sólido, geralmente ácido poli-perfluorosulfônico. A vantagem de ser sólido é que evita a corrosão. Tem alta densidade de potência, pode variar rapidamente a sua produção para satisfazer a necessidade de energia exigida, e são adequadas para aplicações em automóveis onde necessita de um rápido arranque. De acordo com os E.U. Departamento de Energia (DOE), *"as PEM são as principais candidatas para os veículos, para edifícios, e em menor potencial para substituições de baterias recarregáveis."* Este tipo de célula de combustível

é sensível às impurezas dos combustíveis. Sua eficiência varia entre 32 à 40% (FUEL CELLS 2000, 2008).

3. **Metanol Direto (DMFC)** - são parecidas com as PEMFC porque ambas utilizam a membrana polimérica como o eletrólito. Diferem-se porque utiliza como combustível metanol líquido ao invés de hidrogênio. Funcionam há uma temperatura de 50 a 100°C, o que permite ser aplicada em produtos móveis e portáteis, como celulares e laptops utilizando metanol. Chegam a atingir cerca de 40% de eficiência. Rendimentos mais elevados são alcançados em altas temperaturas.
4. **Ácido fosfórico (PAFC)** – as células PAFC estão comercialmente disponíveis hoje. Mais de 400 sistemas já foram instalados no mundo - em hospitais, lares, hotéis, edifícios de escritórios, escolas, utilitários usinas, aterros sanitários e tratamento de águas residuais. No Brasil existem duas: uma em Curitiba e outra no Rio de Janeiro. As PAFCs geram eletricidade a mais de 40% de eficiência - e quase 85% quando a célula produz vapor que é utilizado para a co-geração. As células de combustível PAFC utilizam ácido fosfórico e eletrólito para funcionar a cerca de 150 a 220°C (altas temperaturas). Uma das principais vantagens deste tipo de célula a combustível, além da co-geração a cerca de 85% de eficiência, é que pode utilizar como combustível o hidrogênio impuro. As PAFCs podem tolerar uma concentração de impureza de CO ate cerca de 1,5 por cento, o que amplia a escolha de combustíveis que se pode usar. Se for usada gasolina como combustível, o enxofre deve ser removido. Possui longa vida útil, já testada, de mais de 40000 horas.
5. **Carbonato Fundido (MCFC)** - essas células usam um eletrólito composto por uma mistura de carbonato de sal fundido suspenso em uma matriz cerâmica quimicamente inerte e porosa, e funcionam a temperaturas elevadas aproximadamente 550 a 700°C, sua eficiência chega a 60%. Necessitam da alta

temperatura para que o eletrólito tenha condutividade suficiente. Elas necessitam que o dióxido de carbono e o oxigênio entrem no cátodo. A vantagem das células que operam a altas temperaturas é que têm alta eficiência, flexibilidade na escolha dos combustíveis e catalisadores baratos, já que as reações envolvendo quebra de ligações de hidrocarbonetos de maior peso molecular ocorrem mais rápidas com elevadas temperaturas. Até o momento, foram utilizados como combustíveis nas MCFC o hidrogênio, monóxido de carbono, gás natural, gás de aterro, etc. Células MCFC de 10 kW a 2 MW foram testadas principalmente para geração de energia estacionária (FUEL CELLS 2000, 2008).

6. **Óxido Sólido (SOFC)** - as células de combustível de óxido sólido utilizam um eletrólito metálico, e operam a temperaturas muito elevadas cerca de 650 a 1000°C. A eficiência desse tipo de célula chega a 60%, sendo uma tecnologia promissora para grandes sistemas de geração de energia. Os modelos de célula SOFC estão mais perto da comercialização e estão sendo produzidos por diversas empresas em todo o mundo.
7. **Zinco-Ar (ZAFC)** - Em uma célula de zinco há um eletrodo de difusão de gás (gde), separado por um ânodo de zinco eletrolítico, e alguma forma de separadores mecânicos. O gde é uma membrana permeável que permite a passagem através de oxigênio atmosférico. Depois que o oxigênio foi convertido em íons hidroxila e água, os íons hidroxila irá percorrer um eletrólito, e zinco, atingir o anodo. Aqui, ela reage com o zinco, e formas de óxido de zinco. Este processo cria um potencial elétrico; quando um conjunto de células ZAFC estão conectadas, o potencial elétrico combinado destas células pode ser utilizada como fonte de energia elétrica. Esse processo eletroquímico é muito semelhante ao de uma célula de combustível PEM, mas o reabastecimento é muito diferente e partilha características com as baterias. As ZAFCs contem um "reservatório"

de zinco e uma geladeira que regenera automaticamente e silenciosamente o combustível. Neste sistema de ciclo fechado, a eletricidade é criada como o zinco e o oxigênio são misturados na presença de um eletrólito (como uma PEMFC), a criação de óxido de zinco. Depois de combustível é usado, o sistema está conectado à rede e que o processo seja revertido, saindo mais uma vez zinco puro combustível pellets. O fundamental é que este processo de inversão leva apenas cerca de 5 minutos para ser concluída, de modo que recarregar a bateria não é um problema. A vantagem principal da tecnologia de zinco-ar sobre outras tecnologias baterias é a sua elevada eficiência energética, que é um fator essencial que determina a duração de uma bateria em execução relativamente ao seu peso.

- 8. Cerâmica Protônica (PCFC)** - Este novo tipo de célula de combustível que vem sendo estudado é baseado em um eletrólito cerâmico que apresenta elevada condutividade protônica em temperaturas elevadas. As PCFCs partilham as vantagens térmica e cinética com as células de carbonato fundido e óxido sólido de operar em altas temperaturas (700 °C), embora exibindo todos os benefícios intrínsecos da condução de prótons das células PEM e das PAFCs. A alta temperatura de funcionamento é necessária para alcançar elevada eficiência de combustíveis a base de hidrocarbonetos. As PCFCs podem funcionar a temperaturas elevadas e eletroquimicamente oxidar combustíveis fósseis diretamente para o anodo. Isto elimina a etapa intermediária de produção de hidrogênio através da reforma processo oneroso. As moléculas de hidrocarboneto gasoso são absorvidas na superfície do anodo, na presença de vapor de água, e átomos de hidrogênio são despojados de forma eficiente a ser absorvida para fora do eletrólito, com o dióxido de carbono como principal reação de produto. Além disso, as PCFCs têm um eletrólito sólido de modo a

membrana não pode secar fora como a PEM com células de combustível líquido ou não podem vazarem como com as PAFCs.

**9. Microbianas (MFC)** - as células de combustível microbianas de reação catalítica com utilização de microorganismos, como bactérias para converter virtualmente qualquer material orgânico em combustível. Alguns compostos comuns incluem glicose, acetato, e águas residuais. Delimitada em oxigênio livre de ânodos, os compostos orgânicos são consumidos (oxidado) pelas bactérias ou outros micróbios. Como parte do processo de digestão, a partir de elétrons são atraídos para o composto e conduzido em um circuito com a ajuda de um mediador inorgânico. As MFCs funcionam bem em condições leves em relação a outros tipos de células de combustível, tais como 20 a 40°C, e poderiam ser capazes de produzir mais de 50% de eficiência. Essas células são adequadas para aplicações em pequena escala, tais como dispositivos médicos pelo potencial de glicose no sangue, ou de maiores dimensões, tais como estações de tratamento de água ou fabricantes que produzem resíduos orgânicos que poderiam ser utilizados para o combustível das MFCs.

A tabela 03 a seguir traz o resumo dos tipos de Células a combustível e suas principais características:

**Tabela 03.** Características das Células a Combustível

Tipo de Célula a Combustível	Portador de carga	Eletrólito	Direção do fluxo de carga	Combustível	Catalisador	Eficiência Nominal do Sistema ( % )	Temp. (°C)
Alcalina (AFC)	OH <sup>-</sup>	KOH Diluído	Catodo-Anodo	H <sub>2</sub>	Pt/Ni/Ag	55-60	70-250
Membrana de troca de Prótons (PEMFC)	H <sup>+</sup>	Cloro Alcali Polímeros e Sulfanatos	Anodo - Catodo	H <sub>2</sub> Reforma-do	Pt Pt / Ru	32-40	70-90
Metanol Direto (DMFC)	H <sup>+</sup>		Anodo - Catodo	CH <sub>3</sub> OH	Pt / Ru	35-40	50-100
Ácido Fosfórico (PAFC)	H <sup>+</sup>	Ácido Fosfórico	Anodo - Catodo	GN* H <sub>2</sub>	Pt	36-45	150-220
Carbonato Fundido (MCFC)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Carbonato Líquido	Catodo - Anodo	GN*	-	50-60	550-700
Óxido Sólido (SOFC)	O <sup>2-</sup>	Dióxido de Zircônio Sólido	Catodo - Anodo	GN*	-	5-60	650-1100

(\* GN – Gás natural)

Fonte: UNDP, 1999.

Como pode se observado existem vários tipos de células em diferentes estágios de desenvolvimento e cada célula contém uma específica finalidade. Alguns tipos de células já estão sendo abandonados de estudos, por exemplo, a AFC, devido a sua sensibilidade a impurezas (necessita de hidrogênio puro) ou problemas de durabilidade. Já as células PEM, SOFC, PAFC, MCFC estão em ritmo acelerado de desenvolvimento chegando até a serem comercializadas atualmente (DOE, 2008).

#### 5.8.4. Aplicações

Como a potência das células a combustível pode variar de Miliwatts até MegaWatts, existem inúmeras aplicações. Entre todas as aplicações a única que está sendo comercializada atualmente é a estacionária, mesmo que para fins de pesquisa, pois têm grande potencial para serem utilizadas em sistemas de backup em hospitais, bancos, etc.,

onde o fluxo ininterrupto de energia é fundamental e posteriormente para geração de energia distribuída.

✓ **Sistemas estacionários (grande porte) de geração de energia**

Geralmente as células usadas são do tipo MCFC ou PAFC com potência para mais de 50 KW e capacidade de 200 MW. Já existem inúmeros sistemas instalados pelo mundo como, por exemplo, em hospitais, escolas, aeroportos, hotéis. As células podem fornecer potencia primária ou de respaldo (*backup*). As CaCs podem reduzir o custo de serviços de energia de 20 a 40% nestes casos (FUEL CELLS 2000, 2008).

✓ **Sistemas residenciais de geração de energia (pequeno porte)**

Neste caso as células podem trabalhar apenas para produzir energia de respaldo (*backup*) ou suplementar quando a residência estiver conectada com a rede; ou instaladas como geradores independentes da rede para áreas com dificuldade e acesso das linhas elétricas (energia distribuída) (FUEL CELLS 2000, 2008).

✓ **Transporte**

Devido à alta poluição causada pela queima dos combustíveis fósseis (gasolina e diesel) as grandes fabricantes de veículos já têm um veículo a hidrogênio ou está em fase de desenvolvimento. Existem alguns carros que já são comercializados na Europa e Estados Unidos (ALTERNATIVE ENERGY INSTITUTE, 2002).

As empresas automobilísticas como a *Honda, Toyota, Daimler Chrysler, General Motors, Ford, Hyundai, Volkswagen* já têm seu protótipo. As CaC ainda podem ser instaladas em aviões e motocicletas, ônibus, caminhões, barcos, veleiros, veículos industriais (empilhadeiras), bicicletas, cadeiras de rodas, carrinhos de golf e trens. Para que as CaCs entrem em fase de comercialização elas necessitam que abaxem os custos e seu peso, mais eficiência, maior escolha de tipos de combustíveis e confiabilidade pública, ou seja, mais estudos de desenvolvimento e aceitação pública.

✓ **Sistemas portáteis de energia**

As pequenas células poderiam ser usadas em celulares, laptops, pagers, câmeras de vídeo, ferramentas de potência portátil e dispositivos remotos de baixa potência, tais como aparelhos para surdez, detectores de fumaça, alarmes contra roubos, fechaduras em hotéis e leitores de medidores. As micro-células geralmente usam como combustível o metanol (FUEL CELLS 2000, 2008).

### 5.8.5. Benefícios das Aplicações

As células a combustível são uma forma de gerar energia limpa e eficiente. Enquanto os benefícios da geração de energia distribuída ainda são discutidos, fica evidente a necessidade de energia limpa em lugares com alta concentração de poluentes.

Para a célula ter um melhor aproveitamento nos benefícios ambientais, o combustível usado deve ser extraído de fontes de energias renováveis e limpas, como por exemplo, a energia solar ou eólica. De acordo com o FUEL CELLS 2000, 2008:

1. Não emite gases poluentes; algumas células de combustível estacionárias utilizam gás natural ou hidrocarbonetos como fonte de hidrogênio, mas mesmo assim são menos poluentes do que as centrais elétricas convencionais.
2. Redução da poluição sonora; pois não possuem partes móveis.
3. Alta eficiência; as CaC são mais eficiente do que sistemas de combustão, pois não precisam queimar nenhum combustível. Quando a célula combustível está situada perto do ponto de utilização, o seu calor residual pode ser capturado para fins benéficos (cogeração). Estes sistemas de cogeração da célula combustível podem reduzir a instalação de serviços energéticos.

4. Alta qualidade de energia e melhoria da confiabilidade; a economia depende cada vez mais de computadores, equipamentos médicos e máquinas que são sensíveis as quedas de energia. As CaCs podem servir como sistemas de *backup*.
5. Combustível flexível; as CaCs geram energia enquanto o combustível é fornecido, não importa de onde se retire o hidrogênio, que pode ser obtido a partir de diversas fontes, como já analisado. Uma grande vantagem é a utilização do combustível local disponível, como por exemplo, a utilização de açáí na região norte do Brasil.
6. Aumento da segurança nacional de energia; o hidrogênio pode ser produzido a partir de fontes locais, eliminando a necessidade de importar petróleo. Não há necessidade dos edifícios serem anexados à rede elétrica, permitindo a independência da alta tensão das estações de centrais hidrelétricas e termelétricas. Redução da sobrecarga nas linhas de transmissão. Diminuição da probabilidade de ocorrer racionamentos, “apagões”, como o que ocorreu no Brasil em 2001.
7. Longa vida útil.
8. Redução do lixo tóxico causado pelas baterias e pilhas. Contribuição para reduzir a quantidade de baterias jogadas no lixo que contaminam os aterros sanitários e lençóis freáticos.

### 5.8.6. Mercado Previsto para as Células à Combustível

Além de razões de cunho ambiental, a crescente preocupação dos países quanto à dependência do petróleo importado, vem incentivando o uso do hidrogênio. Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos “o hidrogênio é a escolha dos EUA para energias limpas” (CGEE 2002).

Os esforços no desenvolvimento e processos associados com célula a combustível são altamente justificáveis nesse momento, uma vez que esta forma de geração de energia está no limiar de atingir o estágio comercial. Devido a esse fato, há a necessidade de projetos de duas concepções: uns demonstrativos, que facilitem a compreensão e aceitação dos produtos e processos; e outros de desenvolvimento técnico, a fim de garantir ao país o domínio das tecnologias, que poderão trazer novos paradigmas à questão da geração de energia (CGEE 2002).

Há também o reconhecimento do hidrogênio como vetor energético do futuro, como pode ser notado nos pesados investimentos em todos os países (CGEE 2002). Grandes investimentos estão sendo feitos para o desenvolvimento desta tecnologia, principalmente nos EUA, Canadá, Europa e Japão. Na Europa, em 2001, o investimento nestas tecnologias foi de 200 milhões de Euros, dos quais cerca de 50% na Alemanha (CGEE 2002).

No Brasil, as ações de maior destaque no desenvolvimento de iniciativas na área de células a combustível são realizadas por algumas empresas como a Clamper, CEMIG, Unitech, Eletrocel, a COPEL, Petrobrás e AES do Brasil (ELETROPAULO). Alguns dos projetos dessas empresas são realizados em parcerias com instituições de pesquisa (IPEN, UFRJ, UNICAMP, USP, FAPESP, entre outras) com apoio de recursos dos Fundos Setoriais de petróleo (CTPetro) e energia (CTEnerg) (CGEE 2002).

O mercado previsto para células a combustível é apresentado na tabela 04 abaixo:

**Tabela 04:** Mercado previsto para células a combustível

Ano	Mercado Mundial	Mercado EUA
2003	US\$ 590 milhões	US\$ 165 milhões
2007	US\$ 1800 milhões	US\$ 1600 milhões
2011	US\$ 12000 milhões	US\$ 7100 milhões

**Fonte:** CGEE, 2002. P.10

Embora ainda seja uma tecnologia cara, espera-se que, em 2010, o custo de uma célula a combustível de 5 kW seja de aproximadamente U\$ 3.000 (BENTLEY e DERBY, 2002). Segundo Contadini, 2002 para que esta tecnologia seja mundialmente difundida é necessário ainda:

- Diminuição de custos, com a viabilização da produção em escala;
- Equacionar de maneira mais adequada a produção armazenamento e entrega do hidrogênio.

No Brasil esta tecnologia também vem sendo estudada, sendo que, em novembro de 2002, foi lançado o Programa Brasileiro de Células a Combustível pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos do Ministério de Ciência e Tecnologia, cujos principais objetivos são:

- criar condições para o desenvolvimento de uma tecnologia nacional em sistemas energéticos baseados em células a combustível, visando à produção de energia elétrica de maneira mais limpa e eficiente;
- criar as condições para o estabelecimento de uma indústria nacional para produção de sistemas energéticos baseados em células a combustível, que incluam produtores de células, integradores de sistema e fornecedores de serviço;
- incentivar a instalação de sistemas energéticos baseados em células a combustível, visando atingir os 50 MW de capacidade instalada num prazo de 10 anos.

De acordo com Centro de Gestão e Estudos Estratégicos do Ministério de Ciência e Tecnologia (CGEE) observam-se no Brasil diversas iniciativas no sentido de promover as CaCs, podendo-se destacar as seguintes:

1. Interesse das companhias de energia, instituições associadas e da ANEEL em avaliar o papel do hidrogênio ou outros combustíveis na matriz energética do país;
2. Ações das agências financiadoras – MCT/FINEP, CNPq, FAPESP e outras – respondendo ao interesse dos pesquisadores e dos dirigentes destas organizações;
3. Interesse da Petrobrás e ANP em aumentar o uso de gás natural (GN);
4. Projetos financiados pelos fundos setoriais CT-PETRO e CT-ENERG;
5. Financiamento de pequenas empresas pelo programa PIPE da FAPESP;
6. Investimento da FAPESP em eletroquímica e célula a combustível, no estado de São Paulo, e de organizações similares, em outros estados, em catálise;
7. Companhias incubadas por universidades;
8. Investimentos prévios em centros de excelência em catálise heterogênea, petróleo e gás natural, criados pela Petrobrás via CENPES;
9. investimentos prévios em centros de análise de materiais.
10. Investimentos em projetos de demonstração com recursos próprios (COPEL, Petrobras, CEMIG, AES do Brasil).

Outro nicho de mercado a ser aproveitado pelas CaCs é nas comunidades isoladas. Denominam-se comunidades isoladas as localidades que não obtêm o seu suprimento de eletricidade do Sistema Interligado Nacional (SIN) e, portanto, estão inseridas no contexto dos sistemas isolados. No início de 2003 havia cerca de 294 sistemas isolados em operação, com a seguinte distribuição espacial: 258 sistemas na Região Norte, 32 no estado do Mato Grosso e 4 nos estados de Pernambuco, Bahia, Maranhão e Mato Grosso do Sul. Os principais problemas dos sistemas elétricos isolados no país são os seguintes:

- Custos elevados de operação e manutenção da geração;
- Elevadas despesas com combustível e com seu transporte;
- Obsolescência do parque gerador.

Células a combustível utilizando hidrogênio produzido a partir do etanol, gás natural e gaseificação da biomassa possuem o potencial de substituir parte dos motores diesel, oferecendo uma opção mais eficiente, de menor manutenção e ambientalmente correta para as comunidades isoladas. A introdução das tecnologias de hidrogênio neste mercado depende da competitividade da energia gerada por essas unidades frente às energias geradas por motor diesel. (MME, 2005).

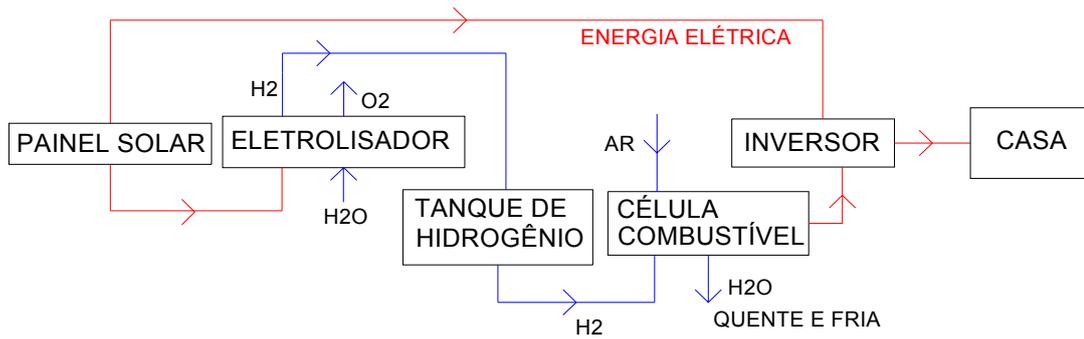
### 5.9. Funcionamento de um Sistema Solar/Hidrogênio/Célula Combustível

Para gerar energia o sistema funciona a partir do momento em que há luz solar iniciando o processo de produção e estocagem de hidrogênio. Durante o dia o sistema pode obter energia elétrica dos painéis solares e da célula, e a noite ou em dias nublados, o sistema ativa a célula combustível.

O excedente de energia solar é utilizado para produzir hidrogênio e oxigênio através da eletrólise da água. O hidrogênio e o oxigênio podem ser armazenados em tanques onde estão prontos para serem utilizados na célula quando se necessita de energia elétrica.

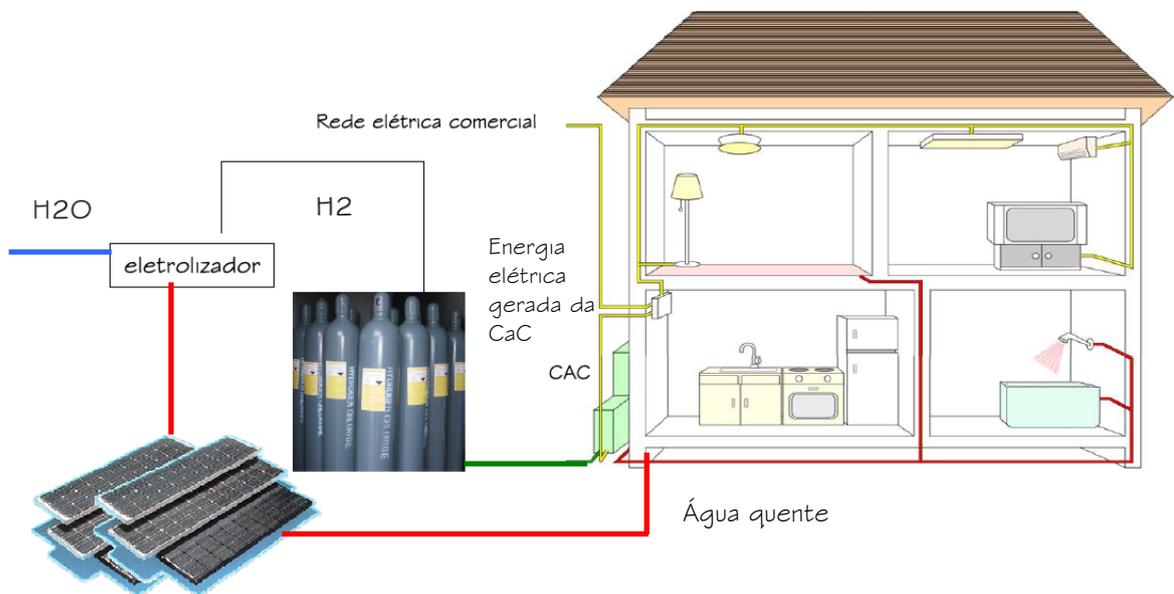
A energia solar é utilizada para fazer a eletrolise da água através de um eletrolisador obtendo como resultado hidrogênio e oxigênio em estado gasoso. Esses gases são estocados e recombinados por intermédio de reações eletroquímicas dentro da célula combustível tendo como produto água pura e energia elétrica.

O sistema ainda pode ser interconectado à rede de serviço público de abastecimento de energia, e quando houver hidrogênio sobrando e os dispositivos da casa estiverem em repouso a eletricidade adicional poderá ser injetada na rede. A seguir a figura 27 mostra o esquema de funcionamento do sistema, e a figura 28 abaixo ilustra o funcionamento do sistema em uma casa convencional conectada a rede de elétrica:



**Figura 27.** Esquema de funcionamento do sistema Solar-hidrogênio

Fonte: Dados obtidos da empresa UNITECH Ltda.



**Figura 28.** Funcionamento do sistema em uma casa conectada à rede elétrica convencional

Fonte: Elaboração própria

Quanto ao dimensionamento do sistema deve-se estabelecer através de uma relação da área do painel com a quantidade de hidrogênio requerido e a potência da CaC. Depende de uma série de fatores, como por exemplo, da luminosidade do local, da eficiência e potência das células, do ângulo em relação ao Sol, etc., esses dados são reservados para uma outra pesquisa para análise de dados no local escolhido.

A eficiência do eletrolisador também contribui para análise em específico. Outro ponto é que a energia da célula fotovoltaica não é usada apenas para produzir hidrogênio, ela fornece energia direto para o edifício. Para gerar 1KW de energia na célula combustível necessita-se de 1M<sup>3</sup> de hidrogênio.

A célula de 5Kw, por exemplo, usada geralmente para estacionarias residenciais mede 1 metro e 30 centímetros (cm) de comprimento por 84 cm de largura e 1,10 metro de altura. O coração do equipamento, que é a própria célula, mede 47 cm de comprimento por 30 cm de largura e 30 cm de altura.

“Uma área de 100 metros quadrados (m<sup>2</sup>) produziria hidrogênio suficiente para uma casa porque é possível estocar hidrogênio em cilindros e usá-lo à noite ou quando não houver captação de energia solar suficiente, em dias nublados ou no inverno. Isso evitaria o custoso e difícil processo de armazenar energia elétrica obtida da energia solar ou eólica, tradicionalmente feito com uso de baterias” (FAPESP, 2004).

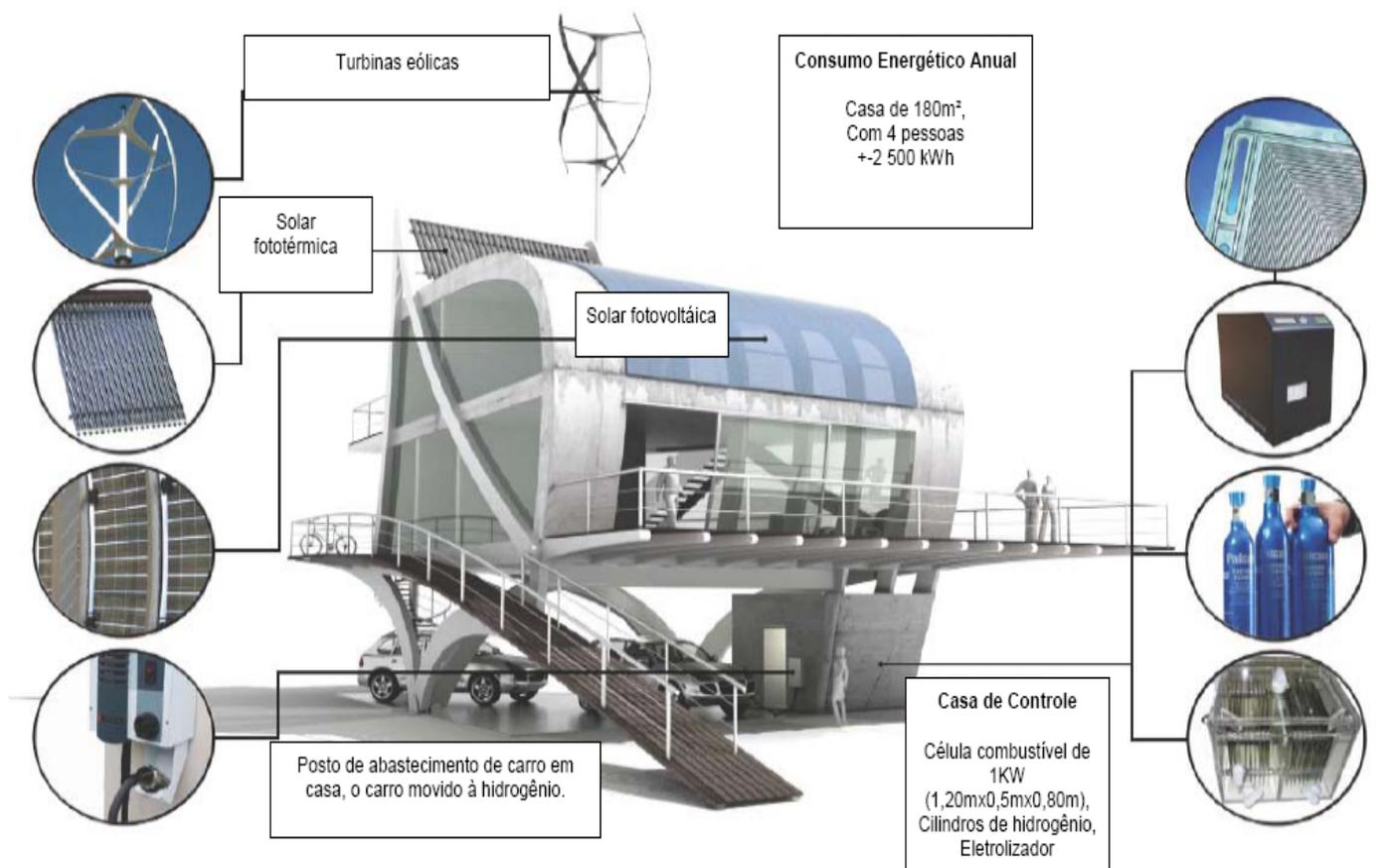
O custo do quilowatt hora (kWh) de energia elétrica produzida com o sistema energia solar, eletrólise e célula a combustível deve ficar em torno de R\$ 0,41. Esse sistema completo de geração de energia elétrica também está sendo desenvolvido pela empresa UniTech (FAPESP, 2004).

"Na operação da célula, a opção mais barata é o gás natural, que custa, no mínimo, R\$ 0,76 o metro cúbico (1 m<sup>3</sup>), porção suficiente para produzir 4 m<sup>3</sup> de hidrogênio e, conseqüentemente, 4 kWh de energia elétrica. Dessa forma, o kWh da energia seria de R\$ 0,19." (FAPESP, 2004).

Para a obtenção de hidrogênio é feita a eletrólise da água usando também a energia eólica, o conceito é mesmo com a energia solar. Pode-se armazenar o excesso de geração de energia eólica na forma de hidrogênio. Quando não se tem vento, utiliza-se o sistema de células a combustível para gerar energia elétrica a partir do hidrogênio. Já existem algumas comunidades no mundo que utilizam este conceito.

Já na utilização do gás natural como fonte primária de energia para fornecimento da célula é realizada a reforma do gás para obtenção de hidrogênio, e a utilização do etanol como combustível pode ser direto na alimentação da célula.

A casa desconectada da rede é independente, autosuficiente energeticamente. A água quente é adquirida pela energia solar térmica e pela eletricidade advinda da solar fotovoltaica e eólica. O armazenamento de energia é feito em forma de hidrogênio gasoso e quando a eletricidade solar fotovoltaica e/ou eólica não forem suficientes é acionada a geração de energia através das células a combustível a partir do hidrogênio estocado. As reservas de eletricidade podem servir também para abastecer o carro movido a hidrogênio. A figura a seguir demonstra a situação de uma casa independente energeticamente exemplificada no texto acima:



**Figura 28.** Funcionamento do sistema em uma casa independente da rede elétrica pública.

**Fonte:** Elaboração própria

## 6. PRINCIPAIS ENTIDADES E PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS DO MUNDO

Neste capítulo será descrito os principais projetos de instalações de CaCs pelo mundo, assim como as suas características e os principais programas governamentais de investimentos em CaC.

### 6.1. Departamento de Energia dos Estados Unidos – DOE

O DOE (*Department of Energy*) tem o objetivo de promover os EUA a nível nacional, econômico e de segurança energética, apoiar a inovação científica e tecnológica, e garantir a segurança do complexo nacional do arsenal de armas nucleares. Funciona como uma agência estatal de segurança nacional e tem 30 anos de existência. O departamento é dividido em oito Escritórios, que contêm 24 laboratórios trabalhando em pesquisas de desenvolvimento tecnológico (DOE, 2008).

Um dos escritórios do DOE é o *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)* (Escritório de Eficiência Energética e Energia Renovável) que trabalha para oferecer um futuro onde a energia será limpa, abundante, confiável e acessível. O (EERE) tem o objetivo de fortalecer os Estados Unidos na segurança energética, qualidade ambiental, econômica e promover parcerias público-privadas. De acordo com o EERE (2009) o escritório suporta este objetivo através de:

- Melhoraria da eficiência energética e da produtividade;
- Demonstração de tecnologias energéticas limpas, confiáveis e acessíveis para o mercado;
- Aumento do leque das opções energéticas, aumentando a qualidade de vida para a sociedade americana.

Um dos 24 laboratórios do DOE é o *National Renewable Energy laboratory (NRL)* (Laboratório Nacional de Energia Renovável) que desenvolve pesquisas de energias renováveis e tecnologias de eficiência energética. Os avanços relacionados com o conhecimento das inovações tecnológicas da ciência e engenharia energética e ambiental são transferidos para nação. O objetivo do laboratório é acelerar a pesquisa e o desenvolvimento de inovações científicas das energias alternativas viáveis para introduzi-la diretamente no mercado (NRL, 2009).

Outro laboratório do DOE que pesquisa CaC é o *National Energy Technology Laboratory (NETL)*, (Laboratório nacional de tecnologias energéticas), que tem o objetivo de aumentar a pesquisa e o desenvolvimento em energia. Os programas englobam assuntos relacionados com carvão, gás natural e petróleo para aplicações nas habitações, indústrias, empresas e transporte; análise de sistemas de energia, e as questões energéticas internacionais. Tem o objetivo de proteger o meio ambiente e reforçar a independência energética do país (NETL, 2009).

Além da pesquisa realizada no local, os projetos do NETL incluem projetos realizados por meio de apoio financeiro de parcerias com cooperativas de P&D, com as universidades e o setor privado (NETL, 2009).

Um dos objetivos específicos do NETL é desenvolver o melhor sistema de energia com zero de emissão, maior eficiência e com menor custo global, através do desenvolvimento específico de células á combustível e geração de energia distribuída. Essas tecnologias demonstraram uma ponte para a economia do hidrogênio.

### 6.1.1. Programas do DOE

#### ***Climate Change Fuel Cell Program***

O programa é feito em conjunto com os Departamentos de Defesa (DOD) e da Energia (DOE), que foi autorizado pelo Congresso Nacional no ano de 1995. Para apoiar o programa, o departamento presta assistência financeira aos compradores de células de combustível que são prestadores de serviços de energia, serviços públicos, ou usuários finais. Os objetivos do programa são a redução de emissões de gases nocivos ao meio ambiente e a aceleração da comercialização de células de combustível.

O Congresso autorizou um financiamento para os anos de 1996 e 1997 de 14 milhões que foram distribuídos através deste programa. O programa é um elemento-chave da Administração Federal para a ação contra as Alterações Climáticas. O plano é reduzir as emissões de gases que causam efeito estufa, em parte, através do desenvolvimento de tecnologias energéticas ambientalmente limpas. A intenção do programa é estimular a produção de CaCs entre os fabricantes para uma futura produção em massa que para ser introduzida no mercado com baixo custo (NETL, 1997).

#### ***Hydrogen Program***

O *Hydrogen Program* foi lançado em 2004. Seu objetivo é pesquisar, desenvolver e validar a produção, entrega e armazenamento do hidrogênio e da tecnologia de células à combustível, superando as barreiras técnicas para a comercialização destas tecnologias. O programa integra pesquisa aplicada, desenvolvimento e demonstração das atividades de apoio ao hidrogênio e à célula combustível (HYDROGEN PROGRAM, 2009).

O programa trabalha em parceria com a indústria, as universidades, os laboratórios nacionais, federais e organizações internacionais para:

- ✓ Superar as barreiras técnicas através da pesquisa e desenvolvimento da produção entrega e armazenamento de hidrogênio e das tecnologias de células á combustível para transporte, distribuição estacionária e aplicações portáteis;
- ✓ Tratar das questões de segurança e desenvolver modelos de códigos e normas;
- ✓ Validar e demonstrar tecnologias do hidrogênio e célula combustível que estão sendo aplicadas;
- ✓ Informar as pessoas cuja aceitação destas tecnologias irá determinar seu sucesso no mercado.

O DOE *Hydrogen Program* atualmente inclui a participação dos Escritórios de Eficiência Energética e Energias Renováveis, Energia Fóssil, Energia Nuclear, e da Ciência. Cada escritório gerencia atividades que abordam a tecnologia do hidrogênio.

### ***SECA Development Program***

O programa *Solid State Energy Conversion Alliance (SECA)*, tem o objetivo de reduzir os custos de CaC de óxido sólido (SOFC) através do desenvolvimento de novos materiais de alta tecnologia, o que permitirá a independência energética, atenuando as preocupações ambientais com a produção de eletricidade, e antecipando o futuro da economia do hidrogênio. Foi criado em 1999 (NETL, 2009).

O programa SECA foi criado para acelerar o desenvolvimento de células de combustível (SOFC) 3 kW a 10 kW para utilização em sistemas estacionários, transporte e aplicações militares; e levá-las para o mercado o mais rápido possível, tornando-as uma opção acessível para a geração de energia limpa. A Aliança foi formada entre três grupos: Indústria, governo federal e universidade. O *National Energy Technology Laboratory (NETL)*, gere o programa SECA.

As empresas participantes do grupo industrial são: Acumentrics, Cummins Power Generation, Delphi Automotive Systems, FuelCell Energy, General Electric Global Research, Siemens Power Generation (NETL, 2009).

## 6.2. Departamento de Defesa dos Estados Unidos – DOD

O DOD (*Department of Defense*) é o departamento federal encarregado de coordenar e supervisionar todas as agências e funções do governo diretamente relacionadas com a segurança nacional e os militares. O DOD gerencia o Departamento do Exército (*United State Army*) (um dos 3 dentro do DOD) que dita as diretrizes estratégicas energéticas para o *U.S. Army Corps of Engineers Team* (USACE). O (USACE) agência federal, está envolvido em construções de obras públicas em apoio ao DOD.

O *Engineer Research and Development Center* (ERDC) (centro de engenharia de Pesquisa e Desenvolvimento) é uma organização que faz parte do USACE e desenvolve soluções inovadoras através da ciência e da tecnologia para desenvolver apoio à infraestrutura, meio ambiente, recursos hídricos e desastres operações. O ERDC é uma organização integrada de pesquisa e desenvolvimento que consiste em 7 laboratórios, que incluem o *Construction Engineering Research Laboratory* (CERL) (DOD, 2009).

Dentro do laboratório CERL do ERDC, os programas mais importantes envolvendo CaCs são:

### ***DOD PAFC demonstration program***

Os objetivos do programa são demonstrar a capacidade das CaCs de tecnologia PAFC em situações reais, estimular o crescimento em escala industrial e determinar o papel energético das CaCs no DOD a longo prazo. É o programa de maior demonstração de célula combustível do tipo PAFC nos Estados Unidos. São Trinta locais de demonstração de CaCs (bases do DOD), instaladas entre 1994 e 1997 (ERDC, 2009). A figura 29 abaixo mostra os 30 locais de instalações das células em vários estados do EUA:

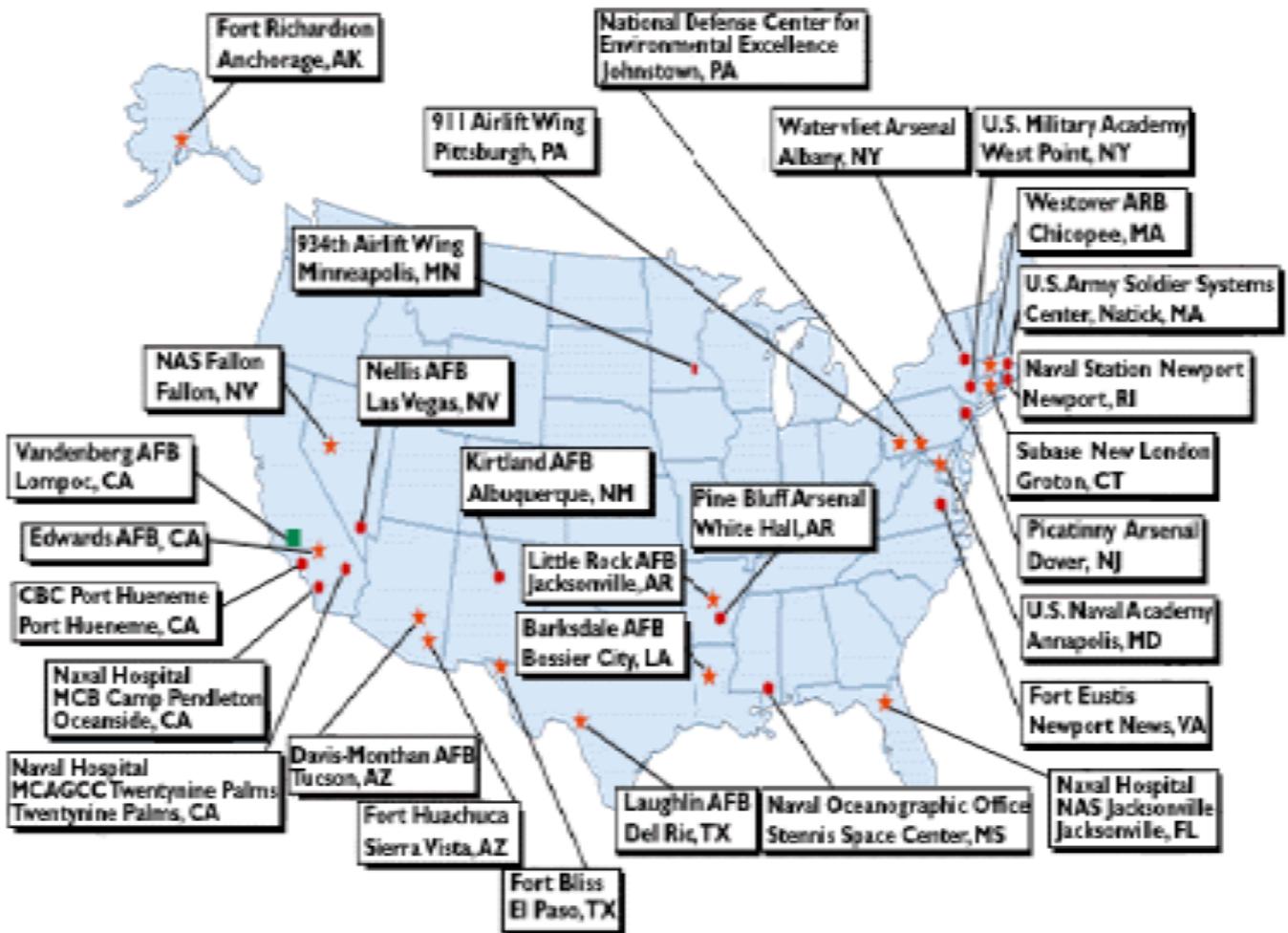


Figura 29. Locais de instalação do programa *PAFC Demonstration*

Fonte: Binder, 2003. Disponível em [http://www.cleanenergystates.org/Meetings/DC\\_FC\\_Workshop/Michael\\_Binder\\_State.pdf](http://www.cleanenergystates.org/Meetings/DC_FC_Workshop/Michael_Binder_State.pdf)

### ***DoD Fuel Cell Climate Change Rebate Programme***

Incentivado pelo DOD desde 1995, o programa é baseado no apoio para implantações de célula combustível em centrais elétricas em todo o mundo. O objetivo deste programa é incentivar a introdução de sistemas de célula combustível no mercado mundial (ERDC, 2009). Os fundos investidos totalizaram uma quantia de US\$ 37,5 milhões para 274 unidades de células instaladas. Dessas 274 unidades, 104 foram de tecnologia PEM e 3 SOFC (DOD, 2009). Para ser um dos projetos escolhidos para receber fundos, os candidatos deveriam:

1. Demonstrar um compromisso de compra e utilização das células de combustível com uma capacidade de pelo menos 3 kW;
2. O candidato não poderia ser fornecedor ou fabricante de célula.
3. Foi dada prioridade para projetos onde as instalações das CaCs fossem dentro do DoD.
4. Não houve restrições quanto ao tipo de combustível utilizado.

### ***DoD Residential PEM Demonstration Project***

O programa do CERL-ERDC demonstra a aplicação de CaC do tipo PEM em escala residencial nas instalações militares do DoD. O programa tem 91 projetos de demonstração e iniciou em 2001. Para este programa é definido CaCs do tamanho entre 1 a 20 kW, independentemente da aplicação (seja em hospitais, residências, etc).

Nos anos de 2001 e 2002 foram feitos investimentos para instalações de 45 CaCs, onde aproximadamente 75% destes projetos encontram-se em funcionamento. Além disso, cerca de US\$ 3.5 milhões foi doado no ano de 2003 (ERDC, 2009). As tabelas abaixo mostram os lugares onde foram instalados projetos de CaC durante o ano de 2001, 2002 e 2003.. As tabelas ainda mostram dados relacionados ao fabricante da CaC, o tipo de combustível usado para alimentá-la e a sua potência.

Tabela: Local, fabricante, combustível e potência das CaCs instaladas no ano de 2001.

Site Name	Building Application	Fuel Cell Mfg.	Input Fuel	Size (kW)	No. Units
Coast Guard Station New Orleans	Office Building	Plug Power	Natural Gas	5	1
Fort McPherson	Officer's Quarters	Plug Power	Natural Gas	5	1
Brooks AFB	Base Housing	Plug Power	Natural Gas	5	3
Fort Bragg	Office Building	Plug Power	Natural Gas	5	1
Fort Jackson	Officer's Quarters	Plug Power	Natural Gas	5	1
Barksdale AFB	Base Housing	Plug Power	Natural Gas	5	1
NAS Patuxent River	Office Building	Plug Power	Propane	5	1
	Officer's Quarters	Plug Power	Natural Gas	5	1
Geiger Field	Maintenance Facility	ReliOn	Hydrogen	3	1
Watervliet Arsenal	Research Facility	Plug Power	Natural Gas	5	3
	Manufacturing Facility	Plug Power	Natural Gas	5	3
	Officer's Quarters	Plug Power	Natural Gas	5	4

Fonte: CERL, 2005

Tabela: Local, fabricante, combustível e potencia das CaCs instaladas no ano de 2002.

Site Name	Building Application	Fuel Cell Mfg.	Input Fuel	Size (kW)	No. Units
ERDC-CERL	Undecided <sup>1</sup>	Plug Power	Natural Gas	5	1
Fort Belvoir	Undecided <sup>2</sup>	Plug Power	Natural Gas	5	1
	Undecided <sup>2</sup>	Plug Power	Hydrogen	5	1
Fort Gordon	Army University of Technology Resource Center	Plug Power	Natural Gas	5	1
Georgia Institute of Technology-ROTC	AF ROTC Building	Plug Power	Natural Gas	5	1
MCAS Cherry Point	Maintenance Facility	Plug Power	Propane	5	1
McChord AFB	FAA Radio Transmitter	ReliOn	Hydrogen	0.5	6
NCA&T University	ROTC Facility	Plug Power	Natural Gas	5	1
Robins AFB	Fire Station	Plug Power	Natural Gas	5	1

Tabela: Local, fabricante, combustível e potencia das CaCs instaladas no ano de 2003.

Fonte: CERL, 2005.

Uma solicitação para este programa foi lançada, pré-propostas foram revisadas e vários candidatos foram selecionados para apresentar propostas. Alguns dos requisitos para seleção dos projetos eram:

1. Todas as células de combustível PEM deveriam ser produzidas e instaladas dentro do DoD;
2. O candidato era responsável pela montagem e instalação das CaCs;
3. Fornecer manutenção durante 1 ano de funcionamento da célula combustível ;
4. Demonstrar os dados de desempenho e monitoramento durante 1 ano;
5. Se houvesse a remoção da CaC, o lugar deveria ser restaurado;
6. O combustível da célula PEM poderia ser: gás natural, gás propano ou hidrogênio, o sistema poderia ser independente ou não da rede.

Todas as unidades estão sendo monitorados de perto para avaliar o seu desempenho e procedimentos de manutenção, e as lições aprendidas servem para auxiliar o desenvolvimento das CaCs.

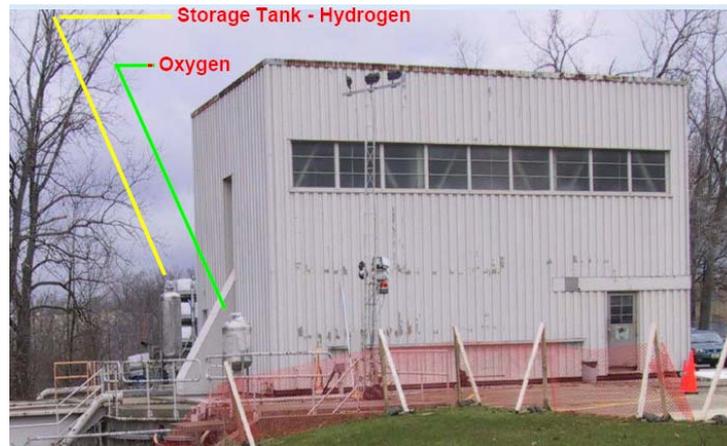
### 6.3. Outras Entidades e Programas Governamentais nos EUA

Há vários programas de demonstração de instalação de CaCs no EUA em âmbito local que incluem trabalhos com apoio de agências locais, por exemplo, *King County Fuel Cell Demonstration Project*, *California Air Resources Board*, *Long Island Power Authority Clean Energy Initiative*; *New York State Energy Research & Development Authority* entre outros, mas são demasiado numerosos para análise em separado, uma vez que todos contribuem para o contínuo desenvolvimento e implantação de células a combustível estacionárias, porém as atividades em Nova York e na Califórnia são de grande importância e representam um marco nas atividades de CaCs estacionárias.

#### **NASA - National Aeronautics and Space Administration**

A NASA atualmente desenvolve protótipos de células a combustível abastecidas com hidrogênio através de eletrolizadores para gerar energia em suas missões espaciais. Estas pesquisas são de suma importância para o desenvolvimento das células em todas as áreas de aplicação (estacionárias automotivas, etc.) devido à crescente ajuda nas soluções de problemas.

Um dos edifícios da NASA, o edifício do *Jet Propulsion Laboratory* em Pasadena, Califórnia, além das pesquisas concernentes às missões espaciais, abriga também pesquisas de novas tecnologias ambientalmente amigáveis, como é o caso do próprio edifício que ganhou o certificado “LEED ouro”. A figura 29 abaixo mostra a “casa de máquina” onde abriga uma célula a combustível que gera energia para algumas missões espaciais. A figura 30 mostra uma estação espacial onde há painéis solares para obtenção de hidrogênio para abastecer células a combustível no espaço (NASA, 2009).



**Figura 30.** Célula da NASA.

Fonte: NASA, 2009. Disponível em <http://www.nasa.gov/htm>



**Figura 31.** Estação Espacial da NASA.

Fonte: NASA, 2009. Disponível em <http://www.nasa.gov/htm>

### ***New York Power Authority (NYPA)***

A NYPA é uma agência estatal de energia, a maior dos EUA. A agência fornece energia para o estado de Nova Iorque e alguns estados vizinhos. A agência é líder nacional na promoção da eficiência energética, do desenvolvimento de tecnologias energéticas limpas e de veículos elétricos.

Os escritórios administrativos da NYPA na cidade de *White Plains* foram reformulados e as mudanças no edifício *Clarence Rappleyea* receberam a classificação “ouro” do LEED (NYPA, 2009). A agência desenvolve e pesquisa células a combustível sob o programa *New Technology Programs*.

Em 1997 foi instalada a primeira célula do mundo alimenta por gás de resíduos anaeróbicos de uma estação de tratamento de água residual (os subprodutos eram metano e dióxido de carbono) gerando 1,6 milhões de kWh/ano e evitando a queima de combustíveis prejudiciais ao meio ambiente.

A agência instalou 8 células de combustível, também alimentada por gás, que foram construídas em quatro redes de tratamento de águas residuais administrada pelo *New York City Department of Environmental Protection* nos bairros do *Bronx*, *Brooklyn* e *Staten Island*. Há outras instalações na delegacia policial do Central Park em Manhattan, no Bronx Hospital Central do Norte, o MTA Corona Manutenção Yard em Queens, no *Bronx Zoo* de Nova York, no Aquário *Coney Island no Brooklyn* e na Universidade do Estado de Nova Iorque (SUNY) - Syracuse do Colégio de Ciências Ambientais e Florestais.

No total são 17 células (PAFC e MCFC) com sistemas interligados ou não à rede. Os projetos fornecem 3.05 megawatts de energia, tornando a NYPA a maior produtora de energia limpa das EUA (NYPA, 2009). A figura 32 abaixo mostra uma das células da NYPA:



**Figura 32.** Célula da delegacia do Central Park em Manhattan

**Fonte:** NYPA, 2009. Disponível em <http://www.nypa.gov/services/fuel%20cells.htm>

### **Long Island Power Authority (LIPA)**

*Long Island* é uma ilha no estado de Nova Iorque, EUA. Tem uma área de 3567 km<sup>2</sup> e uma população de 7.536 milhões.

A *Long Island Power Authority* (LIPA) é uma subdivisão municipal do Estado de Nova York, uma organização pública sem fins lucrativos de utilidade elétrica criada em 1985. Proprietária do sistema elétrico em *Long Island*, fornece serviços para mais de 1,1 milhões de clientes nos municípios de *Nassau e Suffolk*, e para a Península *Rockaway* em *Queens*. Não fornece serviços de gás natural. Os objetivos da empresa são modernizar e reforçar o sistema elétrico, promover a eficiência energética e a expansão da utilização dos recursos energéticos alternativos (LIPA, 2009).

Em 2004 a LIPA anunciou seu projeto para CaCs, chamado *Residential Fuel Cell Demonstration Project*, desenvolve projetos de CaCs de 5KW para serem instaladas em residências urbanas ou locais remotos, e retirar informações sobre a capacidade das CaCs como suplemento de energia ou como potência principal quando a rede externa pára de funcionar. Durante os anos de 2000 a 2002 a LIPA testou vários pequenos sistemas de célula combustível e em 2004 o projeto apoiou 75 unidades de 5 KW fabricadas pela *Plug Power*, alimentadas por gás natural na subestação *West Babylon Town Hall*, a energia gerada das CaCs é interligada com a rede local da cidade. As unidades fornecem 10 Megawatts de energia elétrica para 10 000 residências (FUELCELLSBULLETIN, 2005). As três figuras 33 abaixo mostram a subestação de *West Babylon*:



**Figura 33.** Subestação de *West Babylon*

**Fonte:** ROADS2HY, 2007.

A LIPA também instalou 16 CaCs a gás natural abastecendo sistemas de clientes locais e três de 5 kW sistemas de backup de energia, operando à hidrogênio.

### ***New York State Energy Research and Development Authority***

A *New York State Energy Research and Development Authority* (NYSERDA) é uma corporação pública criada pelo estado de New York em 1975. O objetivo da NYSERDA é fornecer financiamento para Pesquisa e desenvolvimento na área da energia.

A *National Fuel Gas Distribution Company* (empresa privada energética) e a NYSERDA são co-financiadoras de projetos para ajudar a desenvolver a tecnologia de célula à combustível para o mercado residencial. Os projetos envolvem células de 5 kW, produzidas pela Plug Power em uma casa em Lewiston Condado de Niagara e uma segunda unidade em uma casa em Colden (Condado de Erie) (NYSERDA, 2002).

### ***California Air Resources Board***

O *California Air Resources Board* (ARB) é agência reguladora do governo do Estado da Califórnia fundada em 1967. ARB é um departamento da *California Environmental Protection Agency*. É uma agência reguladora de controle da poluição dos motores automobilísticos.

O setor da energia inclui duas grandes estratégias para a obtenção de reduções de gases provenientes da produção da rede de eletricidade, uma é a utilização do gás natural que reduz a emissão de gases nocivos, e a outra é a oferta de estratégias que reduzam as emissões de gases associados à produção de eletricidade nos edifícios. A ferramenta mais eficaz para atingir as reduções de gases é a aplicação da eficiência energética nos edifícios com o compromisso da utilização das energias renováveis.

### ***Self-Generation Incentive Program***

O programa oferece incentivos financeiros desde 2000 a empresas ou organizações institucionais para instalar equipamentos de auto geração de energia renováveis e eficientes para operar em paralelo a rede pública de energia. É o produto do trabalho conjunto da Pacific Gas and Electric, Southern California Edison (SCE), a Southern California Gas Company (SoCalGas), San Diego Gas & Electric (SDG & E), California Center for Sustainable Energy (CCSE), California Energy Commission (CEC) e a Energy Division of the California Public Utilities Commission (CPUC). Os projetos devem envolver energia solar e eólica juntamente com células a combustível, são sistemas de no mínimo 30 KW de potência, portanto excluem sistemas residenciais, que são menores (ENERGY CENTER, CENTER FOR SUSTAINABLE ENERGY CALIFORNIA, 2009).

### ***National Fuel Cell Research Center***

O *National Fuel Cell Research Center* (NFCRC) foi fundado em 1998 nos EUA pelo Departamento de Energia (DOE) e pela *California Energy Commission*.

O objetivo do NFCRC é facilitar e acelerar o desenvolvimento e implantação da tecnologia das células de combustível; promover alianças estratégicas para enfrentar os desafios do mercado associada com a instalação e integração dos sistemas de célula combustível, e para formar e desenvolver recursos para vários intervenientes na comunidade da célula combustível.

A Universidade da Califórnia em Irvine tem uma forte tradição em matéria de energia e estudos ambientais, e está localizada em uma região que é reconhecida internacionalmente pela liderança em pesquisa e desenvolvimento nas áreas de energia e transporte. A cidade de Irvine é uma das maiores comunidades planejadas no país e conhecida por seu registro de administração ambiental. A maioria dos modelos

automobilísticos do mundo surgem da região, e essa área é a maior do mundo em concentração de empresas de consultoria de energia (NFCRC, 2009).

O NFCRC possui graduação e pós-graduação em todas as disciplinas de engenharia e ciências físicas e biológicas, e colabora em cursos e projetos com as equipes de ciências sociais e ciências empresariais. O NFCRC tem contato com instituições de todo o mundo, através da *California Stationary Fuel Cell Collaborative (CaSFCC)*, a *Califórnia Fuel Cell Partnership (CFCP)*, os *U.S. Fuel Cell Council*, a *Fuel Cell Seminar*, a *American Society of Mechanical Engineers (ASME)* e *Pacific Rim Consortium on Energy, Combustion* (NFCRC, 2009).

### 1. *California Stationary Fuel Cell Collaborative (CaSFCC)*

Fundada em Junho de 2001, a CaSFCC é uma parceria público-privada (entre governos federal, estadual e organizações não-governamentais) que trabalha para avançar a implantação de células a combustível estacionárias para geração de energia distribuída por todo o estado da Califórnia. A CaSFCC é administrada pela *California Air Resources Board* (CaSFCC, 2009). A tabela 06 abaixo mostra os locais de instalação de todas as células que o CaSFCC instalou no estado da Califórnia, alguns projetos serão descritos no item:

**Tabela 06.** CaCs estacionárias instaladas na Califórnia

<b>Localização</b>	<b>cidade</b>
California State University, Northridge	Northridge
Camp Roberts Army National Guard Base	Paso Robles
East Anaheim Police Department and Community Center	Anaheim
El Estero Wastewater Treatment Facility	Santa Barbara
Ford Premier Automotive Group - North American Headquarters of Ford Motor Co.	Irvine
Fujitsu	Sunnyvale
Honda Research and Development Americas	Torrance

Los Angeles Air Force Base Civil Engineering Office	El Segundo
Los Angeles Department of Water and Power Headquarters: John Ferraro Building	Los Angeles
Los Angeles Zoo	Los Angeles
March Air Reserve Base	Riverside
National Fuel Cell Research Center	Irvine
National Fuel Cell Research Center (formerly at Southern California Edison's Highgrove Generating Station)	Irvine
Palmdale Water Reclamation Plant	Palmdale
Santa Rita Jail	Dublin
Sheraton San Diego Hotel and Marina, East Tower	San Diego
Sheraton San Diego Hotel and Marina, West Tower	San Diego
Sierra Nevada Brewing Company	Chico
South Sacramento Medical Center	Sacramento
TST, Inc.	Fontana
U.S. Marine Corps Air Ground Combat Center	Twentynine Palms
U.S. Marine Corps Base Camp Pendleton	Oceanside
U.S. Postal Service Embarcadero Postal Center	San Francisco
Westin San Francisco Airport Hotel, The	San Francisco

Fonte: CASFCC, 2009.

Disponível em [http://www.casfcc.org/STATIONARY\\_FC\\_MAP/FCinstallationsTXT.aspx](http://www.casfcc.org/STATIONARY_FC_MAP/FCinstallationsTXT.aspx)

## 2. California Fuel Cell Partnership (CFCP)

A California Fuel Cell Partnership é um projeto público-privado que visa à promoção de veículos movidos a hidrogênio. São membros do projeto as empresas automobilísticas a DaimlerChrysler, a Ford, a General Motors, a Honda, a Hyundai, a Nissan, a Toyota e a Volkswagen. As empresas contratadas para fabricar as CaCs nesse projeto são a *Ballard Power Systems* e a *UTC Fuel Cells* (CFCP, 2009).

#### 6.4. Programas de desenvolvimento de Células à Combustível no Japão

O Japão é um dos países mais avançado nas pesquisas de CaCs. O país já tem cerca de 2200 habitações movidas à hidrogênio. O governo japonês tem sido um grande investidor dessa tecnologia para diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> como uma contribuição para a segurança energética mundial e como um reforço da indústria japonesa.

O governo japonês destinou 309 milhões de dólares por ano para o desenvolvimento da tecnologia. O objetivo é em 2020 cerca de um quarto das habitações japonesas (10 milhões) sejam abastecidas através de células a combustível (H2PORTUGAL, 2008).

Através do Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI) e a da Organização de Desenvolvimento de Novas Energias e Tecnologia Industrial (NEDO), foram elaborados e executados projetos em ambas as esferas, de tecnologia e infraestrutura da aplicação de CaCs. Os projetos desenvolvem, demonstram e tem como objetivo atingir em escala comercial a introdução de sistemas de CaCs até 2030 (NEDO, 2006).

O METI desenvolveu o *Japan Hydrogen Fuel Cell Demonstration Project (JHFC)* que pesquisa e desenvolve estratégias para a introdução de CaCs no mercado, também desenvolve uma infraestrutura para o hidrogênio. São parceiras do programa as empresas: automobilísticas – Toyota, Nissan, Honda, Mercedes Benz, General Motors, Hino Motors, Suzuki, Mazda; petrolíferas – Cosmo Oil, Nippon Oil Corporation, Royal Dutch Shell, Japan Energy Corporation; gás natural - Tokyo Gás, Japan Air Gases, Taiyo Nippon Sanso Corporation; várias atividades - Nippon Steel Corporation, Kurita Water Industries, Sinanen, Itochu Enex, Toho Gas, Osaka Gás (JHFC, 2009).

NEDO é uma instituição administrativa independente que tem em vista o desenvolvimento tecnológico com proteção do meio ambiente. Sua sede está localizada em Kawasaki, Kanagawa. É a maior organização pública em P&D que promove o desenvolvimento da indústria e de novas tecnologias energéticas. Foi criada pelo governo japonês em 1980, para desenvolver novas tecnologias de energia alternativa. Oito anos

mais tarde, em 1988, as atividades da NEDO foram expandidas para incluir pesquisas de tecnologia industrial e, em 1990 pesquisas de tecnologia ambiental.

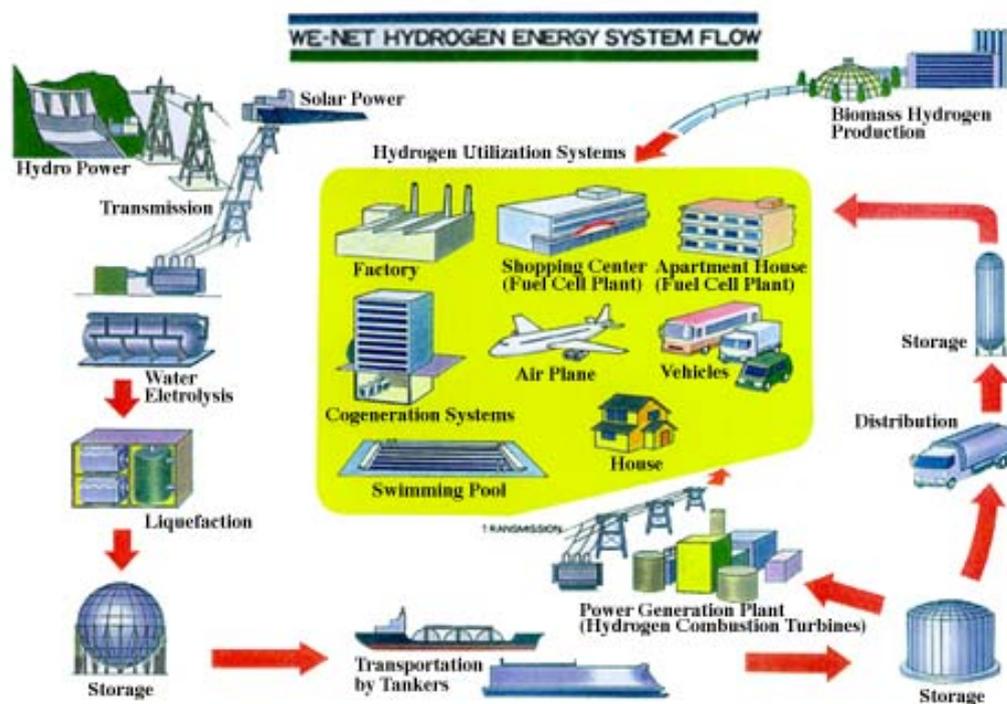
O programa do NEDO de Demonstração Residencial de Células a Combustível iniciado em 2005 teve um orçamento de cerca de US\$ 23 milhões pagos através da implantação de 480 células de 1kW do tipo PEM.

Sete empresas locais foram designadas para participarem do programa de fornecimento, instalação e monitorização dos sistemas:

1. **Tokyo Gás** - empresa publica energética fundada em 1885, é a principal fornecedora de gás natural para as principais cidades do japão, Tokyo, Kanagawa, Saitama, Chiba, Ibaraki, Tochigi, Gunma, Yamanashi, Nagano.
2. **Osaka Gás Co. Ltda** – empresa energética fundada em 1897. Fornece gás à região Kansai, especialmente para área de Keihanshin.
3. **Nippon Oil Corporation** - é uma empresa publica petrolífera japonesa que atua em diversas partes da cadeia de produção de hidrocarbonetos. Seus produtos são comercializados sob a marca ENEOS, que também é utilizada em postos de gasolina. Foi fundada em 1888.
4. **Japan Energy Corporation** - empresa petrolífera, subsidiária da Nippon Mining Holdings, Inc. A Nippon Mining Holdings Group tem quatro principais áreas de negócio: petróleo, metais não-ferrosos, materiais eletrônicos e de outras operações.
5. **Idemitsu Kosan Co.** - empresa publica japonesa de petróleo. Opera em plataformas petrolíferas e refinarias, produz e vende petróleo, óleos e produtos petroquímicos.
6. **Kyushu Oil Co.**
7. **Yaiyo Oil Co.**

Em Abril de 2007 a NEDO aumentou o número total de empreendimentos residenciais para 930 conjuntos de sistemas de célula combustível. As instalações são habitações individuais (casas e não apartamentos) em vários locais com o objetivo de obter dados da utilização de CaCs em uso pratico (METI, 2009).

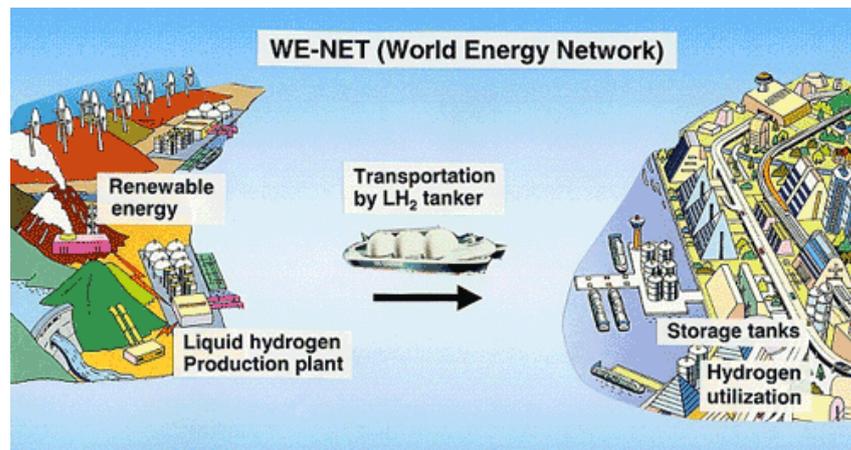
O Instituto Nacional da Ciência e Tecnologia Industrial Avançada (AIST) juntamente com o NEDO lançaram o programa WE-NET (*World Energy Network*) (Rede Mundial da Energia: Cooperação internacional na pesquisa e no desenvolvimento de energia limpa, com especial ênfase no sistema de hidrogênio) foi iniciado em 1993 com o objetivo de apoiar uma rede em escala mundial para a introdução e o desenvolvimento dos recursos renováveis disponíveis como fonte de energia alternativa. São pesquisados os recursos naturais tais como água, a energia solar, eólica, etc. o objetivo maior é que o programa contribua para a resolução de problemas a nível mundial relacionados à demanda crescente de energia e as questões ambientais através da redução dos gases com efeito estufa (WE-NET, 2009). A figura 34 a seguir ilustra a proposta do programa WE-NET com o ciclo da economia do hidrogênio, desde a obtenção do hidrogênio através da eletrólise da água de hidrelétricas e da energia solar, o armazenamento do hidrogênio no estado líquido, o transporte em tanques para os locais onde não há energia renovável e limpa, até a utilização final do hidrogênio fornecendo energia elétrica para casas, shoppings, prédios, aviões, veículos, etc.:



**Figura 34.** Ciclo da economia do hidrogênio

**Fonte:** WE-NET, 2009. Disponível em <http://www.ena.or.jp/WE-NET/index.html>

A próxima figura 35 mostra como poderia ser a produção do hidrogênio em locais onde houvesse energias renováveis e limpas disponíveis para transportá-lo no estado líquido em tanques para outras localidades que não possuem meios de produção de hidrogênio ambientalmente amigável.



**Figura 35.** Transporte do Hidrogênio

**Fonte:** WE-NET, 2009. Disponível em <http://www.enea.or.jp/WE-NET/index.html>

A mais significativa ação de células é para aplicações estacionárias de pequeno porte, para uso doméstico do tipo PEM, embora geralmente não ultrapassem 1KW de potencia. As CaCs SOFC de 1 a 5 KW têm sido bastante desenvolvida também.

A empresa publica *Fuji Electric* (holding entre varias empresas japonesas de tecnologia de serviços energéticos) desenvolveu as primeiras unidades de demonstração de CaCs PAFC para grandes estacionarias no inicio dos anos 90, levando à escala comercial a partir de 1998. As CaCs utilizam combustíveis de biogás e gás natural operando em uma variedade de locais (hospitais, casas, escritórios, etc). Estes projetos representaram cerca de 10 MW de potência gerada entre 1998 a 2005.

Os sistemas MCFC foram desenvolvidos e demonstrados por *ishikawajima harina industries (IHI)* entre 1999 a 2005. A IHI é uma empresa japonesa que produz navios, aeromotores, turbocompressores para automóveis, máquinas industriais, centrais elétricas, pontes suspensas e transporte de maquinas. Em um dos seus segmentos a empresa

participa no desenvolvimento de células de combustível, na cogeração e gaseificação do carvão para gerar energia elétrica. Além disso, tem desenvolvido CaCs de 5kW PEM alimentada com gás da cidade, que se destina a ser vendida como sistemas de back-up. A empresa participa no projeto japonês *New Energy Foundation*, que é um programa de demonstração de CaCs para pequenas estacionárias.

## 7. DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PROJETOS NO MUNDO

### 7.1. PROJETOS DA EUROPA

Devido à inexistência de uma base de dados central dos projetos europeus houve a dificuldade de identificar um critério de seleção como nos projetos dos EUA, que foram classificados por programas do governo, portanto os projetos europeus foram identificados de acordo com a literatura disponibilizada por cada país.

Na Europa não há uma estratégia única para políticas ligadas ao hidrogênio, como nos EUA e Japão, porque se trata de uma comissão de vários países. Como uma ação conjunta, entretanto, a comunidade europeia criou as Redes Temáticas de Hidrogênio e Células a Combustível do ERA (*European Research Act*). Os investimentos totais da Europa em P&D em hidrogênio e Células a Combustível em 2001 foram de 200 milhões de Euros, dos quais 50% são da Alemanha.

O Projeto *Clean Urban Transport for Europe* (CUTE) de ônibus movidos a células a combustível, prevê um total de 27 ônibus (utilizando hidrogênio comprimido), em 9 cidades europeias (de 8 países), e foi implantado a partir de 2003.

No setor privado a *Daimler Chrysler*, por exemplo, já investiu 1,6 bilhões de Euros no período de 2001 à 2004. (CGEE, 2002)

Pode-se observar, porém que toda a Europa está envolvida no desenvolvimento de estacionárias de grande porte e que a Alemanha é o país mais envolvido em projetos de demonstração de aplicação de estacionárias de pequeno porte, principalmente em CaCs do tipo PEM à gás natural que são financiados pela:

1. **European Fuel Cell GmbH** - empresa energética alemã;
2. **Idatech** - fabricante de CaCs;

3. **Center for Fuel Cell Technology (ZBT)** - Instituto Cooperativo filiado à Universidade de Duisburg-Essen, patrocinado por fundos da região do Norte da Renânia-Vestefália e pela União Europeia,
4. E pelas empresas **Plug Power** (fabricante de CaC) em junção com a **Vaillant** (empresa estatal energética alemã) (ROADSHYCOM, 2007).

Sistemas de pequenas estacionárias residenciais e comerciais do tipo SOFC foram implantados pela fabricante de CaCs *Sulzer Hexis* (do tipo SOFC à gás natural) em diferentes locais da Alemanha financiados pelas:

1. **VNG - Verbundnetz Gas AG**, empresa energética alemã;
2. **E.ON Energy AG.**, empresa pública alemã de energia;
3. **RWE AG.** (empresa pública alemã de energia e gás natural);
4. **EnBW - Energie Baden-Württemberg AG.** (empresa energética alemã);
5. **EWR GmbH.** (empresa energética alemã);
6. **Fuel Cell Technologies** - fabricante de células norte-americana (sistemas de 5kW)
7. **Ceramic Fuel Cells** - fabricante de CaC (sistemas de 1kW)

A Comissão Europeia oferece um forte apoio à projetos desse porte no 5º e 6º

*Framework Programme.*

### 7.1.1. Áustria

#### Cidade de Dietachdorf

A Célula de 4.5 KW PEM a gás natural produzida pela Plug Power foi instalada em 2004 no restaurante e hotel *Wirt Im Feld* do proprietário particular Schweinschwaller. A célula fornece eletricidade e água quente. São parceiras do projeto as empresas Vaillant, a Erdgas<sup>2</sup> e a Energie AG<sup>3</sup>. (FUEL CELLS 2000, 2009). As figuras 36 abaixo mostram o restaurante e hotel *Wirt Im Feld* onde a CaC foi instalada:



**Figura 36:** Restaurante e Hotel *Wirt Im Feld*

**Fonte:** 3º Biomass Fermentation and Fuel Cells NET Workshop, 2005. Disponível em [http://energieaq.at/eaqat/resources/257501226587649392\\_326145718357945824.pdf](http://energieaq.at/eaqat/resources/257501226587649392_326145718357945824.pdf)

<sup>2</sup> Empresa sediada na Áustria de infra-estrutura de gás natural.

<sup>3</sup> Empresa de acionista com maior parte estatal de energia, água e resíduos, está localizada na Áustria, com filiações no sul da Alemanha, na República Checa, Hungria e Eslováquia.

## 7.1.2. Alemanha

### **Cidade de Machern**

Cidade do centro oeste da Alemanha, região da Saxônia, com aproximadamente 7 mil habitantes. A célula foi instalada em uma residência em 1999 do tipo PEM, movida a gás natural de 3 KW. A casa é descontada da rede pública e a célula fornece eletricidade e água quente para 4 moradores (FUEL CELLS 2000, 2008).

O projeto de teste tem as parceiras *Hamburg Gas Consult GmbH* (empresa alemã de infra-estrutura de canalização, transporte e distribuição de gás e energia) e a *Verbundnetz Gas AG (VNG)* empresa de infra-estrutura de gás natural e serviços energéticos. O fabricante da CaC é a empresa norte americana *Analytic Power*, do grupo Chevron Texaco (FUEL CELL TODAY, 2008).

### **Cidade de Mulheim**

Instalada em 1999 no *Am Schloss Broich Hotel*, a célula de 3 KW do tipo PEM movida a gás natural foi fabricada pela empresa privada norte americana *American Power Corp.* conhecida pela produção de fontes de alimentação ininterrupta, principalmente utilizado como um sistema de energia de backup, o projeto de demonstração tem a parceria da *Hamburg Gas Consult*. (FUEL CELLS 2000, 2009). A figura 37 a seguir o mostra o prédio do hotel.



**Figura 37.** Hotel Am Schloss Broich de Mulheim

**Fonte:** FUEL CELLS 2000, 2009.

Disponível em: <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=847>

### **Cidade de Mingolsheim**

Em 2002 a fabricante de células *Ballard Power Systems*, empresa que passou a ser pública em 1993, sediada no Canadá, instalou uma célula de 250 KW do tipo PEM à gás natural no *Spa Bath* (banho público), em Mingolsheim. O programa do governo chamado EDISON (Sistema de Energia Inteligente Distribuída) é patrocinado pelo Governo Federal Alemão do Ministério da Indústria e do Emprego (BMWA) para a analisar, desenvolver e implantar sistemas descentralizados de energia. Tem como parceira a EnBW (*Energie Baden-Wuerttemberg AG*) (FUEL CELLS 2000, 2009). A figura 38 abaixo mostra as instalações da célula fabricada pela Ballard no *Spa Bath*..



**Figura 38:** Célula a combustível instalada no *Spa Bath* (banho público), em Mingolsheim

**Fonte:** FUEL CELLS 2000, 2009. Disponível Em

<http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=189>

### Cidade de Brandenburg

A célula fabricada pela *Ceramic Fuel Cells Ltd.*, companhia australiana de fabricação de células SOFC de 1 KW movida a gás natural, foi instalada em 2006 no campo de teste da empresa *Energia Weser-Ems SA*. As empresas *Energia Weser-Ems SA*, do setor energético alemão, e a *Verbundnetz Gas SA*, empresa de infra-estrutura de gás natural e serviços energéticos, são parceiras no projeto de demonstração (FUEL CELLS 2000, 2009).

### Cidade de Oldenburg

A célula fabricada pela *Ceramic Fuel Cells Ltd.*, de 1 KW movida a gás natural, foi instalada em 2005 no Campo de teste da *Energia Weser-Ems SA*. A empresa (EWE) *Energia Weser-Ems SA* foi parceira do projeto (FUEL CELLS 2000, 2009).

### Cidade de Ludwigshafen

A célula de 6KW do tipo PEM a gás natural, foi instalada na Casa Teste em 2000, o projeto é conhecido como "*House of the Future, Prototype 1*" (Casa do Futuro, Protótipo 1). São parceiras a *Hamburg Gas Consult*, *Wingas* empresa de infra-estrutura de gás natural, *Technische Werke Ludwigshafen SA*, *European Fuel Cell GmbH*, todas empresas energéticas alemãs. A fabricante é a norte americana *Dais Analytic*. (FUEL CELLS, 2000, 2008). A figura 39 abaixo mostra o edifício onde a célula foi instalada.



**Figura 39.** O edifício que foi chamado de "*House of the Future, Prototype 1*".

**Fonte:** Caso de estudo da *Energie-Cités*, 2000. Disponível em: [http://www.energie-cites.eu/db/ludwigshafen-am-rhein\\_132\\_en.pdf](http://www.energie-cites.eu/db/ludwigshafen-am-rhein_132_en.pdf)

A "Casa do Futuro, Protótipo 1" foi construída utilizando tecnologia e materiais de construção da empresa BASF. Os materiais de construção inovadores servem para demonstrar que se pode economizar no consumo de energia utilizando materiais apropriados.

Os elementos técnicos de redução de energia que foram incorporadas no edifício são as seguintes: Paredes externas e telhado com isolamento térmico, janelas com baixa condutividade, Acumulador de calor latente de gesso nos quartos, varanda para ventilação (ENERGIE-CITÉS, 2000).

### **Cidade de Gruenstadt**

Instalada em 2003 no Hospital de Gruenstadt, a célula de 250 KW do tipo MCFC fabricada pela norte americana *Fuel Cell Energy*, fornece eletricidade, refrigeração e água quente para o edifício que é desconectado da rede. O excesso de capacidade de energia é enviado para rede pública.

O projeto foi financiado pelo Ministério Federal da Economia e do Trabalho. Tem parceria com a *Pfalzwerke*, empresa energética alemã, e a *MTU CFC Solutions GmbH*, fabricante de células estacionárias alemã (FUEL CELLS, 2000, 2008). A figura 40 abaixo mostra o edifício do Hospital, onde a CaC foi instalada.



**Figura 40:** Hospital de Gruenstadt

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=395>

## Cidade de Magdeberg

Uma célula do tipo MCFC de 250 KW foi instalada em 2002 pelo fabricante *FuelCell Energy*, fornece eletricidade e água quente para o *Otto von Guericke-Universidade Hospital*. Tem parceria com a *MTU CFC Solutions*, e a Clínica médica *Otto-von-guericke*. Financiado pelo Ministério Federal da Economia e do Trabalho (FUEL CELLS 2000, 2008). A figura 41 abaixo mostra a fachada do *Otto von Guericke-Universidade Hospital*.



**Figura 41:** *Otto von Guericke-Universidade Hospital*

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=416>

## Cidade de Berlin

No Gabinete do Representante do Estado da Renânia do Norte-Vestefália, uma célula do tipo PEM de 4.6 KW a gás natural foi instalada em 2004 pelo fabricante *IdaTech*, e tem parceria com a RWE Fuel Cells, subsidiária da RWE, empresa de serviços energéticos da Alemanha (RWE, 2009). A figura 42 a seguir mostra a fachada do gabinete, onde a CaC foi instalada.



**Figura 42:** Fachada do Gabinete do Representante do Estado da Renânia do Norte-Vestefália

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=518>

### Cidade de Aurich

A célula de 4.6 KW PEM do fabricante Plug Power instalada em 2004 faz parte do projeto da Comissão Europeia, “*European Union Fuel Cell Virtual Power Plant*”<sup>4</sup>. Tem parceria com a Vaillant, a EWE e *E.ON Energie*, empresa pública de serviços energéticos da Alemanha. A célula fornece sistema de aquecimento para alguns apartamentos do edifício. A figura 43a seguir mostra o edifício onde foi instalada a célula:



**Figura 43:** Edifício onde foi instalada a célula.

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/uploads/Aurich%202.JPG>

---

<sup>4</sup> Projeto da Comissão Europeia com parceria das empresas Vaillant, a Plug Power, as empresas Ruhrgas, a E. ON, EWE, EAM Energieplus (todos da Alemanha), Gasuine da Holanda, Cogen Europa (Bélgica), Instituto Técnico Superior da Universidade de Lisboa (Portugal), Universidade de Duisburg (Alemanha), DLR - Centro Aeroespacial Alemão (Espanha / Alemanha) e Sistemas de Calor (Espanha).O projeto foi cofinanciados pela Comissão Europeia no âmbito do 5 ° Quadro R&D Programa.O objetivo do projeto é instalar e demonstrar células combustíveis como uma tecnologia inovadora para geração de energia, isto é, transformar a tecnologia de laboratório em uma tecnologia cotidiana. O projeto demonstra 31 sistemas estacionários de pequeno porte (4.6kW de potencia, calor de até 11kW) do tipo PEM, que foram instaladas em pequenas casas e instalações comerciais na Alemanha, Holanda, Espanha e Portugal.

## Cidade de Hilden

A célula de 4.6 KW PEM do fabricante *Plug Power* instalada em 2004 faz parte do projeto da Comissão Europeia, “*European Union Fuel Cell Virtual Power Plant*”. Tem parceria com a *Vaillant*, a *Stadwerke Hilden* empresa alemã de aquecimento e gás natural, a *Ruhrgás* infra-estrutura de gás natural e a *E.ON Energie*, empresa pública de serviços energéticos da Alemanha. A célula fornece sistema de aquecimento para alguns apartamentos do edifício. A figura 44 abaixo mostra o edifício onde foi instalada a célula:



**Figura 44:** Edifício onde foi instalada a célula.

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=748>

## Cidade de Delitzsch

O projeto da Comissão Europeia, “*European Union Fuel Cell Virtual Power Plant*”, tem parceira com a *Vaillant* e *Plug Power*, e foi instalado em 2003. A célula é do tipo PEM. A figura 45 abaixo mostra o edifício onde foi instalada a célula:



**Figura 45:** Edifício onde foi instalada a célula

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=891>

### **Cidade de Oldenburg**

A célula de 4.6 KW PEM do fabricante Plug Power instalada em 2004 faz parte do projeto da Comissão Europeia, “*European Union Fuel Cell Virtual Power Plant*”. Tem parceria com a Vaillant, a EWE, e a E.ON Energie, empresa pública de serviços energéticos da Alemanha. A célula fornece sistema de aquecimento para alguns apartamentos do edifício. A figura 46 abaixo mostra o edifício onde foi instalada a célula:



**Figura 46:** Edifício onde foi instalada a célula

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=736>

### **Cidade de Mülheimer**

Célula de 1 KW PEM instalada em 2003 pelo fabricante Sulzer Hexis no prédio administrativo da *Mülheimer Wohnungsbau AG*. (MWB), empresa de construção de habitação germânica. Fornece água quente e eletricidade. A figura 47 abaixo mostra a fachada do prédio onde foi instalada a célula:



**Figura 47:** Fachada do prédio administrativo da *Mülheimer Wohnungsbau AG*.

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=977>

## Cidade de Essen

A célula teste foi desenhada para o uso diário de uma residência familiar. A CaC foi instalada no pavilhão da *RWE fuel cell* no *Meteorit Park*. A Célula de 1 KW SOFC à gás natural foi instalada em 2002 e é da fabricante Sulzer Hexis. As figuras 48 abaixo mostram o edifício da *RWE fuel cell* e a célula que foi instalada:



**Figura 48:** Edifício da *RWE fuel cell*

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008.

Disponível Em

<http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=482>

## Cidade de Ludwigshafen

A célula localizada no *Garden City Rehabilitated Apartment Complex*, tem parceria com *MVV Energie*, empresa de energia alemã e a *BASF* também alemã. Esta célula combustível fornece 1 KW de eletricidade e está sendo testada em condições reais em um apartamento do conjunto. A Universidade Bingen está monitorando os resultados do protótipo. O projeto é denominado "*Three-Liter House project*". A figura 49 abaixo mostra o edifício onde foi instalada a CaC, no *Garden City Rehabilitated Apartment Complex*.



**Figura 49:** *Garden City Rehabilitated Apartment Complex*

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em

<http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=844>

## Cidade de Hamburg

Localizada no Edifício Residencial em Lyserstrasse, a célula de 200 KW PAFC da fabricante *UTC Power* é movida a hidrogênio líquido. É financiada pela Comissão Europeia pelo projeto “*Comissão Europeia Euro-Québec Hydro-Hydrogen Pilot Project*”<sup>5</sup> que tem como foco os aspectos técnicos e operacionais do combustível hidrogênio líquido. São parceiras as empresas *Hamburgische Electricitäts-Werke AG (HEW)* e a *Hamburger Gaswerke GmbH (HGW)* empresas alemãs de infraestrutura de gás. A figura 50 a seguir mostra o tanque que foi instalado atrás do edifício para fornecer o hidrogênio no estado líquido para alimentar a célula (FUEL CELLS 2000, 2009).



**Figura 50:** Tanque de hidrogênio líquido

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=755>

---

<sup>5</sup> O Projeto Euro-Quebec Hydro-Hydrogen tem sido promovido desde o início dos anos 1990 e é uma proposta para a prática e econômica de transporte de grandes quantidades de hidrogênio líquido por via marítima. Como o nome indica, a proposta é transportar pelo mar de hidrogênio produzido em Quebec, no Canadá para a Europa, inicialmente Hamburgo, na Alemanha. O hidrogênio é fabricado pela eletrólise da água utilizando hidroeletricidade (DROLETA, GRETZB, KLUYSKENS, SANDMANN, WURSTER, 1996).

### 7.1.3. Itália

#### Cidade de Milão

A Célula instalada em 1996 finalizada em 1999, de 100KW MCFC a gás natural, foi produzida pela empresa italiana de fabricação de CaCs *Ansaldo Fuel Cells Spa*, fundada em 1993, pertencente ao *Grupo Finmeccanica*, de categoria pública (FUEL CELLS 2000, 2009). A empresa *Ansaldo Fuel Cells*, desenvolve a tecnologia de células MCFC para estacionárias de grande porte com sede em Genova (ANSALDOFUELCELLS, 2009).

A célula foi instalada na ENEL - *Ente Nazionale per l'Energia eLettrica*, empresa estatal italiana fornecedora de energia, atualmente está parcialmente privatizada. A ENEL também foi financiadora do projeto (ENEL, 2009). A figura 51 abaixo mostra o campo de teste da ENEL onde foi instalada a célula:



**Figura 51:** campo de teste da ENEL

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=163>

#### Cidade de Turin

A Célula de 5KW SOFC instalada no restaurante da GTT<sup>6</sup> - *Gas Turbine Technologies*, empresa líder nos serviços de rede em tubos com sede em Turim na Itália. Fazia parte do grupo FIAT, mas agora faz parte da Siemens.

Esta instalação será feita no âmbito de um novo programa para células à combustível de pequeno porte da própria empresa - *EBE (Energia a Basse Emissione)*. A

unidade irá fornecer energia para a instalação do restaurante no local. A empresa que fabricou a célula foi a Siemens Power Generation (FUEL CELLS 2000, 2009).

A Siemens e a GTT estão em cooperativa para uma demonstração de projeto SOFC e já começaram com uma célula de 100 kW, instalada em junho de 2005, no GTT de Turim, o projeto é intitulado *EOS (Energia da Ossidi Solodi)* (SIEMENS, 2009).

#### 7.1.4. Espanha

##### **Cidade de Guadalix**

Guadalix é um município da Espanha, província de Madrid com 3830 km<sup>2</sup>, e uma população de 9522 habitantes.

A célula de 500 KW foi instalada em 2004, no campo de teste da empresa pública espanhola Iberdrola, que atua na área distribuição de gás natural e na geração e distribuição de energia elétrica (FUEL CELLS 2000, 2009).

A célula é movida à gás natural, e é do tipo MCFC, fabricada pela *Ansaldo Fuel Cells Spa*, o projeto tem parceria com a *ENEA* (Agência Nacional Italiana de Novas Tecnologias, Energia e Ambiente), agência italiana de P&D patrocinada pelo governo (ENEA, 2009). Também é patrocinada pela *Baulcke Ltda.* empresa de arrefecimento com sede na Alemanha e atua em vários países (BAULCKE, 2009). A figura 52 a seguir mostra o campo de teste da empresa Iberdrola e a estação da célula de grande porte:

---

<sup>6</sup> A empresa GTT tem 175 empregados e receitas de 63,6 milhões de euros (ano fiscal de 2004-2005) estabelecidos em 2003 para fornecer abrangente, de alta qualidade para serviços de geração de energia da indústria, foi fundada em 1952 pela Fiat. TGT fornece sobressalentes, reparações, manutenção e atualizações para centrais elétricas (SIEMENS, 2009).



**Figura 52:** Campo de teste de CaC da Iberdrola.

**Fonte:** Garcia, 2003.

Disponível em <http://aeh2.org/ponencias/pres06.pdf>

### **Cidade de Usurbil**

Uma célula combustível PEM, foi produzida e instalada em 2008 na Escola Profissional de Usurbil (Gipuzkoa). A próxima fase do projeto, atualmente em curso, irá adicionar ao complemento das atuais instalações, um eletrolisador e uma quantidade de painéis solares necessários para produzir hidrogênio no local para o funcionamento da célula combustível (FUEL CELLS 2000, 2009).

O projeto tem parceria com o Governo da Província de Gipuzkoa (Departamento de Desenvolvimento Sustentável) que financia o CIDETEC-IK4 (Centro de Tecnologias Eletroquímicas) (CIDETEC, 2009).

### **Cidade de Cartagena**

A cidade de Cartagena fica no Sul de Espanha na orla do mar mediterrâneo, ocupando 558,3 km<sup>2</sup>, com uma população de 211286 habitantes.

Uma célula de 250 Kw movida à gas natural do tipo MCFC foi instalada no Estaleiro de Izar em novembro de 2003, gerando calor, energia elétrica e refrigeração, operando 22 horas por dia (FUELCELLS 2000, 2009).

O lugar se tornou campo de teste para *MTU CFC Solutions GmbH*, a empresa alemã é uma *joint venture* entre a *MTU Friedrichshafen*, a *DaimlerChrysler AG company*, e a *RWE Fuel Cells GmbH*, todas essas empresas desenvolvem e fabricam células combustíveis estacionárias (FUELCELLTODAY, 2009).

O projeto é financiado pela Comissão Europeia sob do Projeto *Thermie*. A figura 53 a seguir mostra a célula dentro do edifício do Estaleiro de Izar na cidade de Cartagena:



**Figura 53:** Estaleiro de Izar

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=410>

### 7.1.5. Portugal

#### **Cidade de Lisboa**

Instalada na cidade de Lisboa no Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (órgão público), em 2003 pela empresa *Plug Power*.

A célula do tipo PEM de 4,6 KW é movida à gás natural. Parte do financiamento é feito pela Comissão Europeia no projeto *European Fuel Cell Virtual Power Plant* e pelo IST (FUELCELLS 2000, 2009).

### 7.1.6. Grécia

#### Cidade de Pikermi Attiki

A célula AFC de 5KW à hidrogênio foi instalada em 2007 no Centro de Fontes de Energias Renováveis (CRES) sediado na mesma cidade. O Centro é uma entidade pública nacional que promove a utilização de fontes renováveis de energia, a utilização racional e a conservação de energia; supervisionado pelo Ministério do Desenvolvimento, Secretariado-Geral da Pesquisa e da Tecnologia, e tem independência administrativa e financeira (CRES, 2009).

A empresa canadense fabricante de CaCs, *Astris Energi* produziu a célula em cooperação com a *Tropical AS*, uma companhia sediada em Atenas de tecnologia de CaCs, hidrogênio e fontes renováveis de energia (TROPICAL, 2009).

A célula está localizada no edifício do Laboratório de Tecnologia do Hidrogênio. A figura 54 a seguir mostra a célula que foi instalada no laboratório de Tecnologia do Hidrogênio, no CRES.



**Figura 54:** Célula de 5 KW de potência instalada no CRES

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2008. Disponível Em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=1030>

### 7.1.7. Suécia

Os projetos governamentais suecos estão sendo pesquisados pela indústria de células de combustível, com aplicação das células nas áreas de transporte e residencial. Um dos maiores projetos financiado pelo governo é o “Carro Verde”. Neste projeto fazem parte as universidades suecas e os parceiros industriais como as empresas particulares *Volvo Cars* (propriedade da Ford), a *Volvo Trucks*, a *Saab Automobile* (propriedade da General Motors) e os caminhões Scania (FONTES, BOSANDER, NILSSON, 2002).

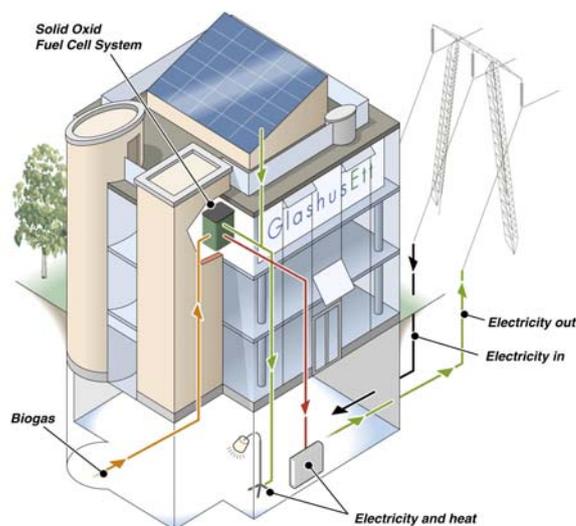
Várias cidades têm planos para a introdução de CaCs na produção de energia nas zonas residenciais, incluindo Estocolmo.

#### **Cidade de Estocolmo**

Três pequenos sistemas de Células de 5 KW foram instalados em 2002 no bairro residencial de *Hammarby Sjöstad*. As células SOFC são alimentadas por biogás, retirado de um sistema de tratamento de esgoto local. As células foram produzidas pela *Fuel Cell Technologies* (FUELCELLS 2000,2009).

Outro projeto foi a instalação da célula no edifício “GlashusEtt” (centro de informação ambiental) em 2007. A célula de 5 KW SOFC é movida à biogás extraído de uma estação local de tratamento de esgoto. A célula pode ser abastecida com gás natural, propano e outros combustíveis, e foi produzida pela norte americana *Acumentrics Corporatio* (FUELCELLS 2000,2009).

A célula fornece eletricidade para o prédio que tem em vista se conectar a rede de eletricidade local para vender o excedente de energia. O prédio é um local de demonstração de novas tecnologias que podem ser introduzidas em um edifício (HAMMARBYSJOSTAD, 2009). As figuras 55 e 56 abaixo mostram o edifício GlashusEtt e o sistema de funcionamento da célula e a célula que foi instalada para fornecer eletricidade ao mesmo.



**Figura 55:** Edifício GlashusEtt

**Fonte:** HAMMARBYJOSTAD, 2009. Disponível em:  
<http://www.hammarbysjostad.se/inenglish/pdf/Broschure%20SOFC%20English%2020071029.pdf>



**Figura 56:** Célula SOFC de 5KW

**Fonte:** HAMMARBYJOSTAD, 2009. Disponível em:  
<http://www.hammarbysjostad.se/inenglish/pdf/Broschure%20SOFC%20English%2020071029.pdf>

Esse projeto tem parceria com a *ABB Corporate Research*, empresa sueca de alta tecnologia, a *FMV (Swedish Defence Materiel Administration)* organização independente das forças armadas, *Fortum* empresa finlandesa de energia pública, o edifício GlashusEtt, *JM* empresa particular de construção civil de habitações, a *City of Stockholm*, e a *Swedish Energy Agency*.

O projeto do edifício reúne alguns elementos de eficiência energética aplicada como, por exemplo: painel solar no telhado e na fachada servindo como cortina do edifício; telhado verde; sistemas automáticos de sensores de luz, janelas amplas para iluminação natural

(GREENBUILDINGWORLDWIDE, 2009). A figura 57 abaixo mostra a fachada principal do edifício *GlashusEtt*:



**Figura 57:** Edifício *GlashusEtt*, fachada principal

**Fonte:** GREENBUILDINGWORLDWIDE, 2009. Disponível em [http://www.greenbuildingworldwide.com/index\\_files/page0033.htm](http://www.greenbuildingworldwide.com/index_files/page0033.htm)

### 7.1.8. Suíça

A empresa suíça fabricante de células a combustível para estacionárias residenciais, *Sulzer Hexis Ltd*, assinou um acordo de distribuição com o fornecedor de gás natural *Gasverbund Mittelland AG (GVM)*. O acordo prevê 30 sistemas a serem disponibilizados para testes em casas familiares suíças. Com este acordo *Sulzer Hexis* alcançou um importante objetivo: 400 sistemas de células de combustível estão sob contrato para serem testados e desenvolvidos em cooperação com as companhias de energia e instaladores.

Alem do acordo de distribuição com *GVM*, outros já existem com *EnBW Energie Baden-Württemberg AG*, *E.ON Energie AG*, *AG EWE*, *Elektrizitätswerk AG EWR Rheinhessen*, *GmbH Thyssengas* e *Gás Verbundnetz AG*.

A *Sulzer Hexis* desenvolve, fabrica e distribui sistemas de célula de combustível do tipo *SOFC* para alimentação e geração de calor em residências unifamiliares. O sistema cobre as necessidades básicas de alimentação e os requisitos de

calor total da casa familiar típica da Europa Central. A célula de combustível gera 1 kW de energia eléctrica e 2,5 kW de potência térmica. A figura 58 abaixo mostra um modelo de célula utilizada em pequenas estacionarias residenciais pela Sulzer Hexis.



**Figura 58:** Célula da Sulzer Hexis.

**Fonte:** Ful Cell Today, 2009. Disponível em <http://www.fuelcelltoday.com/reference/image-bank/Stationary/Sulzer-Hexis-HXS1000>

### 7.1.9. Noruega

Os planos de estratégia de inserção da utilização de CaCs na Noruega ficam atrás apenas da Islândia, entre os países nórdicos. A Noruega tem uma tradição muito forte na tecnologia de eletrólise água, a empresa *Norsk Hydro* é uma das maiores fabricantes de eletrolizadores do mundo. Apesar do fato da Noruega ser o maior produtor de petróleo na Europa, isso não tem barrado a introdução de tecnologias de energias renováveis.

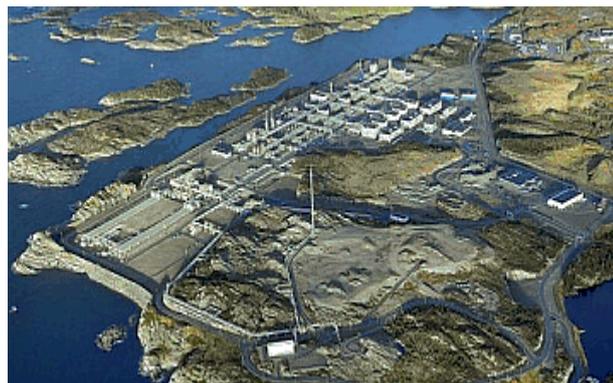
A distribuidora norueguesa de energia eléctrica, *Statkraft*, tem pesquisas de planejamento para a produção descentralizada de hidrogênio, e para a regulamentação e distribuição de eletricidade na cidade gerada apenas por hidrogênio (FONTES BOSANDER NILSSON, 2002).

## Cidade de Bergen

A Célula de demonstração de 250 KW SOFC utiliza gás de dióxido de carbono como combustível. Tem parceiras as empresas *Shell Hydrogen* sediada na Holanda, criada em 1999, é uma *joint venture* entre *Royal Dutch* e a *Shell Group* e atua na área de produtos comerciais relacionados com o hidrogênio e células de combustível, e a *Siemens Power Generation* (FUELCELLS 2000, 2009).

A intenção é que esta tecnologia seja usada para gerar eletricidade a partir de gás natural e as emissões de dióxido de carbono serão "capturadas" para serem utilizadas na indústria e depositadas em reservatórios subterrâneos. O dióxido de carbono também pode ser utilizado em mercados de menor dimensão, por exemplo, nas pisciculturas onde o dióxido de carbono pode melhorar o crescimento de algas ou ainda em estufas agrícolas, em que pode aumentar o crescimento das culturas (FONTES BOSANDER NILSSON, 2002).

A célula foi instalada em 2003 na *Kollsnes*, fábrica de processamento de gás, dentro da Statoil, empresa pública norueguesa de petróleo e gás. A figura 59 abaixo mostra a fábrica de processamento de gás da Kollsnes dentro da Statoil onde foi instalada a célula de grande porte:



**Figura 59:** Empresa Statoil na Noruega

**Fonte:** STATOIL, 2009. Disponível em <http://www.statoil.com/STATOILCOM/SVG00990.nsf?opendatabase&lang=en&artid=743ECBC931DF92A141256657004D06F1>

### 7.1.10. Finlândia

#### **Cidade de Aetsa**

Uma célula de 3 KW tipo PEM produzida pela empresa *HPower*, movida a hidrogênio, foi instalada em 2001 no campo de teste da *Fortum*, uma das principais empresas públicas de energia sediada na Finlândia (FORTUM, 2009).

De acordo com FONTES BOSANDER NILSSON (2002) a unidade fornece eletricidade e calor para uma residência familiar e ainda vende o excedente de eletricidade para a rede local. Tem parceria com *Finlândia Chemicals* (empresa de produtos químicos) e a *National Technology Agency* (TEKES) que é uma organização de investigação e desenvolvimento tecnológico, na Finlândia. (FUELCELLS 2000, 2009).

### 7.1.11. Bélgica

#### **Cidade de Liege**

Instalada pelo fabricante *Ballard Power Systems* em 2001 na Universidade de Liege, a célula SOFC de 220 KW à gás natural fornece potência ao sistema do campus universitário e para piscina do campus que é aquecida (FUELCELLS 2000, 2009).

Tem parceria com a própria universidade e a *PROMOCELL*, empresa belga de execução e teste da tecnologia de células a combustível PEM e artigos associados (PROMOCELL, 2009). Outra célula da Fuel Cell Technologies de 5 KW SOFC foi instalada no campus em 2005. A figura 60 abaixo mostra o local onde foi instalada a célula dentro da universidade:



**Figura 60:** Universidade de Liege

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2009.

Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=196>

## 7.1.12. França

### Cidade de Saint-Denis

Instalada em 2003 pela *Plug Power* no Edifício de Teste da *Gaz de France*, a célula do tipo PEM de 4.6KW é movida a gás natural. Fornece água quente e aquecimento para 7 apartamentos (FUELCELLS 2000, 2009). Tem como parceira a *Vaillant GmbH*, empresa alemã que desenvolve produtos para conforto térmico residencial (VAILLANT, 2009). A figura 61 abaixo mostra o edifício de teste da *Gaz de France*, onde foi instalada a célula para fornecer energia para 7 apartamentos:



**Figura 61:** Edifício de teste da *Gaz de France*

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2009. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=785>

Outro protótipo de célula à combustível PEM de 4.5 KW foi instalado em uma casa de teste no centro de pesquisa da empresa Gaz de France, em Saint-Denis em julho de 2001. O objetivo foi estudar o comportamento das células combustíveis aplicada ao uso diário. Tem como parceira a fabricante *H Power corp.* Um segundo protótipo foi instalado em 2002 no mesmo lugar (FUELCELLS 2000, 20009).

A empresa Gaz de France<sup>7</sup> e a empresa americana HPower têm trabalhado em conjunto há vários anos para estudar e desenvolver as células de combustível PEM movidas à gás natural (GAZ DE FRANCE, 2009).

### **Cidade de Dunkerque**

Dunkerque é uma cidade portuária do norte da França, com 71.000 habitantes. Uma célula do tipo PEM de 4 KW movida à hidrogênio extraído a partir da eletrólise da água pela energia de painéis fotovoltaicos, foi instalada para fornecer eletricidade e aquecimento para todos os gabinetes da câmara municipal da cidade, em 2002 (FUELCELLS 2000, 2009).

A célula foi produzida pela *H Power Corp.* e tem como parceira a empresa Gaz de France. O empreendimento faz parte do projeto *EPAcop*<sup>8</sup> Os membros do EPAcop são Gaz de France, Ecole des Mines de Paris, Laboratório de Ciências de Génie Chimique, Grupo de pesquisa Eletrônica de Nancy, Laboratório de Energia e Mecânica Teórica e Aplicada, Associação de Lorena para a Promoção do Hidrogênio e suas Aplicações (ALPHEA) (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009). A figura 62 a seguir mostra a célula instalada:

---

<sup>7</sup> A Gaz de France (GDF) é uma produtora e distribuidora francesa de gás natural. Além da França, atua também na Bélgica, nos Estados Unidos e na Alemanha. Após uma fusão ocorrida em 3 de Setembro de 2007, a nova empresa fica entre os quatro primeiras do ranking mundial do setor de gás e energia elétrica.

<sup>8</sup> O projeto titulado *PEM FUEL CELLS IN REAL CONDITIONS* (EPACOp) foi criado em 1999. O objetivo do projeto EPAcop é testar células PEM fabricadas pela Plug Power em condições reais em aplicações residenciais e comerciais de pequeno porte (entre 1 à 20 kw). Financiado pelo Departamento Francês de P&D, e co-financiado por quatro delegações regionais (Nord Pas-de-Calais, Lorraine, Limousin e Provença-Alpes-Côte d'Azur) da Agência Francesa do Meio Ambiente e

Gestão da Energia (ADEME, *Agence gouvernementale de l' Environnement et de la Maîtrise d'Énergie*), 37% e 47% pela Gaz de France.



**Figura:** célula fabricada pela *H Power*

**Fonte:** EPACOP, 2003. Disponível em <http://embedded.deec.uc.pt/EU-savefuelcell/actual/Fact-sheets/Epacopv3.pdf>

### **Cidade de Limoges**

Limoges é uma cidade de França, capital do departamento de Haute-Vienne, e capital administrativa da região Limousin. A população da área urbana é de 248.000 habitantes.

Na sede da prefeitura de Feytiat (Haute-Vienne) uma célula à combustível do tipo PEMF de 4 KW movida à gas natural e produzida pela *H Power* em parceria com a Gaz de France, foi instalada em 2003 (FUELCELLS 2000, 2009).

A célula gera eletricidade e aquecimento para todo o prédio. Este é um dos 5 projetos de demonstração do EPACOP criados pelo Departamento de Pesquisa Franceses juntamente com a Gaz de France e autoridades locais. (GAZ DE FRANCE, 2009).

### **Cidade de Nancy**

Cidade francesa localizada na região de Lorraine, a cidade é a capital de Meurthe-et-Moselle. A área metropolitana de Nancy tem uma população de 410.509 habitantes.

A célula à combustível foi instalada em 2003 dentro do campus no Instituto Nacional Politécnico de Lorraine, produz eletricidade e aquecimento para os laboratórios do

departamento agrícola. A célula foi produzida pela H Power com parceria da Gaz de France, e é do tipo PEM de 4 KW movida à gás natural. Faz parte do EPACOP (FUELCELLS 2000 2009). A figura 63 abaixo mostra os lugares na França onde foram instaladas as células do projeto EPACOP.



**Figura 63:** Mapa da França com os lugares onde foram instaladas células a combustível

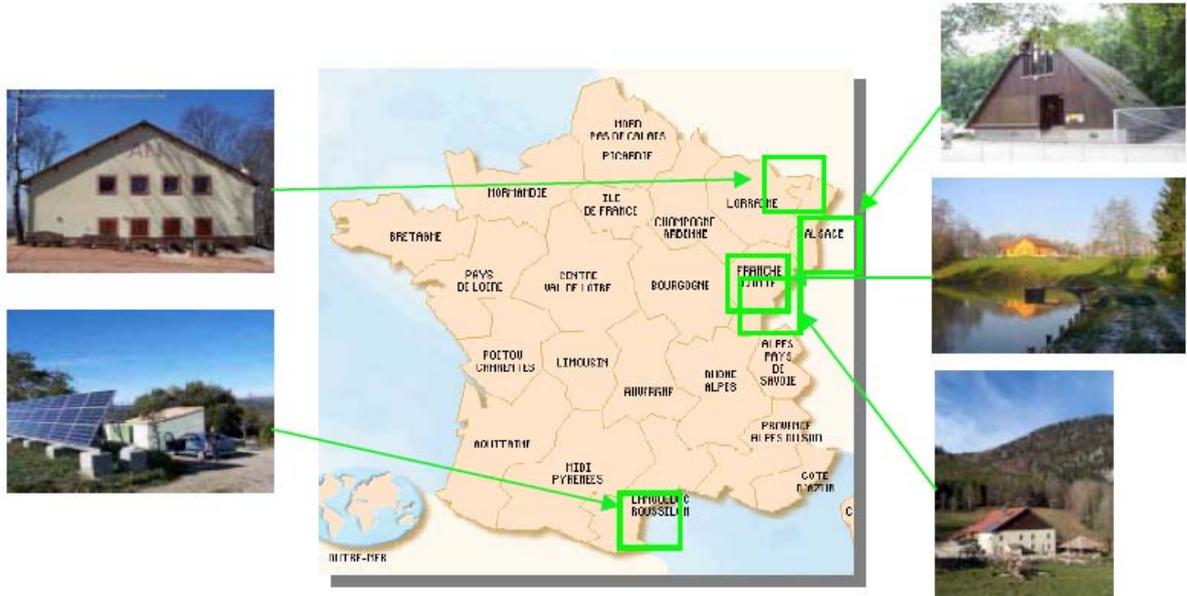
**Fonte:** IEA, 2009. Disponível em <http://www.ieahia.org/pdfs/EPACOP.pdf>

### Cidade de Vallée de l'Aude

Uma célula de 1KW PEM foi instalada em fevereiro de 2003, produzida pela IDATECH (FUELCELLS 2000, 2009). O sistema funciona com painéis solares produzindo eletricidade para extrair metanol para fornecer energia para a CaC, em uma residência familiar.

O projeto foi Financiado pela Electricité de France, empresa mista privada-estatal, a maior produtora e distribuidora de energia da França. A célula faz parte de um projeto da Electricité de France para lugares isolados, desconectados da rede devido à posição

geográfica. O protejo possui 5 instalações de demonstração pela França, como pode ser visto na figura 64 a seguir (LUCCHESI, 2005).



**Figura 64:** Locais de instalações de CaC da Electricité de France.

Fonte: LUCCHESI, 2005

### Cidade de Franche-Comté

Duas unidades de CaC PEM de 1KW usando metanol como combustível foram instaladas em dezembro de 2003, funcionam com painéis solares fornecendo energia para uma residência familiar (FUELCELLS 2000, 2009). O Projeto é financiado pela Electricité de France (LUCCHESI, 2005). A figura 65 abaixo mostra o local na residência onde foram instalados os painéis solares que produzem eletricidade para produção de metanol para abastecer a CaC. A figura 66 mostra a célula sendo instalada dentro da casa, no porão.



**Figura 65:** Painéis solares no teto da residência

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2009. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=952>



**Figura 66:** Célula instalada no interior da casa

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2009. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=952>

### **Cidade de Forbach**

Uma unidade de 1 kw PEM produzida pela IDATECH foi instalada em abril de 2004 no bosque de Forbach. Este projeto permite demonstrar a possibilidade de desconectar-se da rede (FUELCELLS 2000, 2009). Por causa das densas árvores há uma dificuldade de levar as linhas de transmissão até o local. O projeto foi financiado pela *Electricité de France* (LUCCHESI, 2005).

### **Cidade de Strasbourg**

A CaC foi Instalada em 2004, na sede da Associação de Pescadores de Cottage, a célula é movida a metanol produzido da eletrólise da água pela energia de painéis

fotovoltaicos. (European Institute for Energy Research). É uma dos 5 projetos da *Electricité de France* (LUCCHESI, 2005).

### **Cidade de Lievin**

Instalada em 2005 em um edifício de apartamentos, a célula produzida pela Plug Power do tipo PEM e 4.6 KW movida a gás natural, fornece eletricidade e água quente para 10 apartamentos. Tem parceria com a Vaillant, Eletricité de France, Pás de Calais Habitat, empresa que financia habitações sociais, Veolia Environnement SA, empresa pública francesa que atua na área de transporte, energia abastecimento de água e resíduos, e a prefeitura da *CommunAupole Lens-Lievin* (Departamento da Comunidade de Pas de Calais) (FUELCELLS 2000, 2009).

### **Cidade de Sarreguemines**

A Célula do fabricante Plug Power com 4.6KW do tipo PEM movida a gás natural, fornece eletricidade e água quente para vários apartamentos do edifício. Foi instalada em 2004 com parceria da Vaillant, *Electricité de France*, Dalkia empresa de serviços energéticos subsidiária da empresa Veolia Environnement com sede em Paris (DALKIA, 2008) e a OPHLM de Sarreguemine (*Office Public d Habitations à Loyer Modéré de Sarreguemines*), instituição pública de habitação social criada por autoridades locais (FUELCELLS 2000, 2009). A figura 67 abaixo mostra o edifício onde foi instalada a CaC:



**Figura 67:** Edifício na cidade de Sarreguemines

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2009. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=697>

### 7.1.13. Holanda

O governo holandês apóia fortemente a transição para um sistema energético sustentável. Isto é necessário porque as políticas tradicionais precisam ser renovadas para responder às atuais condições ambientais. A mudança necessita da união de varias áreas estratégicas. O Ministério de Assuntos Econômicos iniciou o Programa de Transição de Energia em 2001. (*Hydrogen Network Programme*, SENTERNOVEM, 2005).

Vários programas como o *Innovative Cooperation* (Innovatieve Samenwerking, IS) e o *Energie Onderzoek Stratégie* (EOS) - Pesquisa Estratégica Energética, e o Sistema Único de Oportunidades (UKR) oferecem subsídios para apoiar iniciativas para a utilização do hidrogênio (*Hydrogen Network Programme*, SENTERNOVEM, 2005).

#### **O Programa EOS: *Energie Onderzoek Stratégie***

O objetivo do projeto é estimular a pesquisa sobre sistemas energéticos sustentáveis. O governo holandês tem a intenção de avançar progressivamente em uma economia não mais baseada no petróleo e outros combustíveis fósseis, mas em uma economia de fontes de energia limpas com menor custo e mais confiáveis.

O programa EOS que é implementado pela SenterNovem<sup>9</sup>, pretende iniciar e apoiar a inovação e a pesquisa nos domínios da eficiência energética e energia sustentável. Além dos financiamentos, o governo divulga essa nova tecnologia através de workshops e conferências. O programa engloba cerca de vinte campos de P&D, agrupadas em cinco redes separadas: Eficiência energética na agricultura e indústrias; Biomassa como combustíveis fósseis; Edificações; Geração e Networking (SETERNOVEM, 2009).

#### **Cidade de Groningen**

Este projeto de análise de CaCs, faz parte do programa “*European Virtual Fuel Cell Power Plant*”, financiado pela Comissão Européia. A Célula PEM de 4.6KW da Plug Power à

gás natural foi instalada em 2004 em um edifício de apartamentos. Tem parceria com a Vaillant e a Gasunie, empresa estatal holandesa de distribuição de gás natural.

### **Cidade de Hoogkerk**

A Célula PEM de 4.6 KW à gás natural da Plug Power, é financiada pelo “*European Virtual Fuel Cell Power Plant*”. Tem parceria com a Vaillant e as empresas Gasunie e a prefeitura local. A figura 68 a seguir mostra o edifício onde a CaC foi instalada e a figura 69 mostra a própria célula dentro do edifício:



**Figura 68:** Edifício onde a CaC foi instalada.

**Fonte:** Fonte: FUELCELLS 2000, 2009. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=790>



**Figura 69:** Célula instalada dentro do edifício.

**Fonte:** Fonte: FUELCELLS 2000, 2009. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=790>

---

<sup>9</sup>SenterNovem é uma agência do Ministério de Assuntos Econômicos da Holanda que realiza políticas governamentais para introdução de inovações tecnológicas no domínio da energia. Disponível em: <<http://www.senternovem.org>>.

## Cidade de Hague

O Projeto de demonstração da empresa BMW AG. denominado *H2ague*, também faz parte do “*European Virtual Fuel Cell Power Plant*”. A célula PEM de 4.6KW movida a gás natural foi instalada em 2003 no prédio da concessionária BMW. A célula fornece eletricidade e aquecimento para todo o edifício. Tem parceria com a Vaillant e a Gasuine. A figura 70 abaixo mostra o edifício da BMW na cidade de Hague:



**Figura 70:** Edifício da BMW

**Fonte:** Fonte: FUELCELLS 2000, 2009. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/uploads/The%20Hague.JPG>

Outra célula foi instalada em 2002 no laboratório de teste da *Energy Research Center of the Netherlands* (ECN). O ECN tem estreita colaboração com parceiros industriais, desenvolve materiais e componentes de sistemas para aplicações de células de combustível automotivas e estacionárias.

A célula SOFC de 1 KW movida a gás natural foi produzida pela Sulzer Hexis e serve para estudos e pesquisas de aplicação em estacionárias pequenas (residenciais). A seguir a figura 71 mostra o Prédio do Centro de Pesquisa de Energia da Holanda onde se encontra o laboratório de teste:



**Figura 71:** *Energy Research Center of the Netherlands*

**Fonte:** ECN, 2009. Disponível em <http://www.ecn.nl/en/corp/>

#### 7.1.14. Dinamarca

A Dinamarca a indústria de produção de célula combustível de óxido sólido é a que esta mais desenvolvida. A Dinamarca é um dos maiores produtores de gás natural na Europa, e com isso, o governo dinamarquês tem uma estratégia de apoio em pesquisas de células de combustível de óxido sólido (SOFCs), tipo de célula que pode ser abastecido com gás natural.

Hoje a Dinamarca tem centros de pesquisas SOFC na Universidade da Dinamarca (DTU) e na Universidade de Odense. O consórcio dinamarquês para fabricação de CaC SOFC envolve várias grandes empresas, dentre elas a Siemens (Alemanha), a Rolls-Royce (Reino Unido), Hexis Sulzer (Suíça) e a Statoil (Noruega) (FONTES, BOSANDER, NILSSON, 2005).

O desenvolvimento na área da tecnologia SOFC é o mais antigo, com 13 projetos e um orçamento de aproximadamente 11,5 milhões de euros, que representa mais da metade do total dos recursos utilizados nas CaCs. No entanto, a partir de 1998, o desenvolvimento de células PEM tem sido apoiado pelo Programa Nacional de Pesquisa da Energia (EFP), a Obrigação de Fundos do Serviço Público para P& D no Ambiente e na Eletricidade (PSO) e o Conselho de Pesquisa com o programa *Hydrogen Energy*, pesquisa de projetos de

demonstração que abrangem o desenvolvimento e aplicação de células de combustível PEM para ambas as aplicações estacionárias ou móveis.

Também foi concedido apoio ao desenvolvimento de motores de combustão impulsionado por hidrogênio para aplicação em veículos (Birte Holst Jørgensen, 2003).

Um projeto de destaque é realizado por um grupo de empresas e instituições dinamarquesas que lançaram o chamado H2PIA, um projeto de conceito da primeira cidade integralmente baseada na nova economia do hidrogênio, na Dinamarca, em 2007. Fazem parte desse projeto de demonstração a *Hydrogen Innovation & Research Centre (HIRC)*, conjunto de universidades e empresas privadas para pesquisa de inovações tecnológicas do hidrogênio, Metopos LTDA empresa privada de construção civil, *How2Live* LTDA arquitetos associados, *H2logic* LTDA, empresa de soluções em CaCs e hidrogênio. O projeto de uma pequena vila à hidrogenio promete ser realizado em 2010. A figura 72 abaixo mostra uma produção de imagem para a casa movida à hidrogênio.



**Figura 72:** Projeto da H2PIA para uma casa à hidrogênio.

**Fonte:** H2PIA, 2009. Disponível em <http://www.h2pia.dk/com/h2pia>

### **Cidade de Frederiksborg**

Três células de 10 KW e uma de 7 KW de MCFC a gás natural foram instaladas no centro de testes da Elkraft em 1996. Produzidas pela Fuel Cell Energy, produtora de células norte-americana (FUELCELLS 2000, 2009). A Elkraft Power Ltd. É uma empresa estatal norueguesa de energia (ELKRAFT, 2009).

### **7.1.15. Islândia**

A Islândia é um dos países nórdicos que teve o maior progresso na introdução da economia do hidrogênio. Os planos para fazer uma estrutura energética independente do petróleo começaram em 1978. O Governo islandês visa à construção da primeira economia do hidrogênio do mundo (FONTES, BOSANDER NILSSON, 2002).

A Islândia é umas das poucas nações que tem um moderno sistema de eletricidade, com 99% de energia dependente de fontes renováveis de energia geotérmica e hidrelétrica. O sistema total de energia, incluindo o transporte, é de aproximadamente 68% dependentes das fontes renováveis (DUNN, 2000).

Esses fatores levam alguns especialistas a acreditarem que o país está se preparando para fazer a transição dos motores de combustão interna para as células de combustível a hidrogênio e hidrocarbonetos a partir de energias renováveis. Com sua extensa rede de energia renovável, a Islândia tem um avanço sobre o resto do mundo e está posicionada para alardear o caminho para uma economia livre de combustíveis fósseis (DUNN, 2000).

O projeto já tem atraído empresas como a *Daimler Chrysler* e *Royal Dutch Shell* e Norsk Hydro e a Vistorka, essas empresas se juntaram e formaram a ICELAND NEW ENERGY (INE) que desenvolve a utilização de hidrogênio. Um importante projeto dessa junção é o ECTOS (Sistema de Transporte da Cidade Ecológica) (DUNN, 2000, p.96).

## Cidade de Reykjavik

A Célula de 5KW instalada em 2006, produzida pela Plug Power foi colocada no *Keflavik International Airport, Leifur Erikkson Air Terminal* (aeroporto local da cidade). A célula do tipo PEM é movida à hidrogênio. Este projeto faz parte do DOD no *Residential PEM Fuel Cell Demonstration Program*. A figura 73 abaixo mostra o aeroporto onde a CaC funciona:



**Figura 73:** *Keflavik International Airport*

**Fonte:** Keflavik, 2009. Disponível em: <http://keflavikairport.gov/>

## 7.1.16. Reino Unido

### Cidade de Methil

A célula será instalada no *Hydrogen Office*. O projeto do Hydrogen Office irá desenvolver um edifício com máximo aproveitamento da eficiência energética para abrigar o *Hydrogen Office Demonstration Centre*, centro de incubação de pequenas empresas com escritórios e alojamentos (FUELCELLS 2000, 2009).

Uma turbina eólica vai produzir eletricidade suficiente para fornecer energia para o edifício, produzir o hidrogênio para a célula combustível, e em grande parte do ano irá produzir energia o suficiente para vender o excedente à rede nacional. O sistema energético, incluindo o aquecimento da água, será concebido de modo a ser auto-suficiente para cerca de 80% do tempo.

No futuro a idéia do projeto é gerar hidrogênio suficiente para alimentar um carro ou microônibus, demonstrando o potencial do hidrogênio para gerar energia para atender às necessidades de transporte decorrentes das atividades da construção. São parceiros do projeto as empresas *Scottish Enterprise*, *Alsherra Investments*, *European Regional Development Fund*, *Fife Council*, *The Scottish Hydrogen and Fuel Cell Association* (HYDROGENOFFICE 2009). A figura 74 abaixo mostra o edifício do Hydrogen Office:



**Figura 74:** Edifício do Hydrogen Office

**Fonte:** HYDROGENOFFICE, 2009. Disponível em <http://www.hydrogenoffice.com/news/index.asp>

## 7.2. PROJETOS DOS ESTADOS UNIDOS E CANADÁ

### 7.2.1. Canadá

#### **Cidade de Mississauga**

Na Universidade de Toronto em Mississauga (UTM), Canadá, foi instalada quatro células combustível de óxido sólido (SOFC) em 19 de abril de 2006. A instalação fornece energia limpa e ambientalmente amigável e calor para 12 residências de estudantes no campus.

As 4 células fabricadas pela empresa canadense *Ballard* são de 5 kw, gerando 20 KW no total e são alimentadas a gás natural. Quando as casas exigirem mais de 20 kilowatts de potência, a energia virá da rede elétrica da cidade. O projeto foi financiado pelo governo através do programa *Hydrogen Early Adopters Program (H2EA)*<sup>10</sup> e pela empresa canadense pública energética *Ontario Power Generation (OPG)* (UTM, 2006). A figura 75 a seguir mostra a “casa de estudante”, que é alimentada por uma das células instaladas no campus:



**Figura 75:** Casa de estudante do Campus da UTM.

**Fonte:** HYDROGENVILLAGE, 2009. Disponível em

<http://www.hydrogenvillage.ca/UTM%20-%20SOFC%20News%20Release%20-%20April%202006.pdf>

O *Hydrogen Village* é um projeto de parceria público-privada com a participação de diversos programas de financiamento governamental. Os investimentos também são feitos pela indústria a fim de compartilhar o risco.

A empresa Siemens e a *Ontario Power Generation (OPG)* escolheram a Universidade de Toronto em Mississauga (UTM), como o local de demonstração de projetos com CaCs. Isto deu origem a proposta da UTM para desenvolver um Centro de Novas Tecnologias Energéticas, que tem o objetivo de implantar um conjunto de células combustível e outras novas tecnologias energéticas em seu campus. Representantes da Cidade de Toronto, a Universidade de Toronto em Mississauga, e as empresas canadenses Hydrogenics, Stuart Energy, Ballard, Fuel Cell Technologies, Air Liquide participaram da elaboração do projeto *Hydrogen Village*. A ilustração 76 abaixo do projeto hydrogen village

mostra como o hidrogênio e as células combustíveis podem ser usados em uma comunidade, a chamada “economia do hidrogênio”.



Figura 76: Hydrogen Village – a “economia do hidrogênio”.

Fonte: HYDROGENVILLAGE, 2009. Disponível em [http://www.hydrogenvillage.ca/About\\_hydrogen\\_village.htm](http://www.hydrogenvillage.ca/About_hydrogen_village.htm)

**10** O projeto H2EA é uma parceria entre o governo e a indústria destinado a demonstrar novas tecnologias de hidrogênio como vetor energético, conceito que levaria a uma “economia do hidrogênio” para o Canadá (FUELCELLS 2000, 2009). O projeto demonstra estações de abastecimento de hidrogênio e vilas, comunidades alimentadas por energia alternativa (INDUSTRIALTECHNOLOGIESOFFICE, 2009). Mais especificamente, os objetivos estratégicos do programa são para:

- Aumentar aceitação pública para novas tecnologias;
- Integrar a obtenção do hidrogênio à tecnologias compatíveis;
- Desenvolver infra-estruturas de hidrogênio;
- Desenvolver códigos e padrões para a indústria do hidrogênio.

**11** O *National Reseach Council (NRC)* é uma agência governamental do Canadá fundada em 1916, que promove a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias nas áreas de ciências, engenharias e saúde. O *Institute for Fuel Cell Innovation (NRC-IFCI)* apóia a investigação aplicada ao apoio da introdução de célula combustível e hidrogênio na indústria.

**12** A Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) é uma corporação regida pelo governo do Canadá, fundada após a Segunda Guerra Mundial para promover habitações para o regresso soldados. Mais tarde virou uma agencia de financiamentos de habitações. Hoje sua principal função é fornecer seguro de hipotecas residenciais para compradores de casas. Desde 1954, uma em cada três casas canadenses fizeram uso do seguro. Além de seguro hipotecário, a agência fornece financiamento para projetos habitacionais.

**13** O Natural Resources Canada (NRCan) é o departamento do governo do Canadá responsável pelos recursos naturais, energia, minérios e metais, florestas, ciências da terra , cartografia e sensoriamento remoto. O Natural Resources Canada (NRCan) trabalha para assegurar o desenvolvimento responsável do Canadá.

## Cidade de Kingston

Foi instalada em 2005 uma célula SOFC de 5KW à gás natural fabricada pela empresa *fuelcell technologies* na *Canadian Centre for Housing Technology (CCHT)*. A casa aberta desde 1998, serve de demonstração de novas tecnologias aplicadas para habitações em exposição aos construtores, fabricantes ou consumidores (CANADIAN CENTRE FOR HOUSING TECHNOLOGY, 2007). A figura 77 abaixo mostra a fachada da CCHT.



**Figura 77:** *Canadian Centre for Housing Technology*

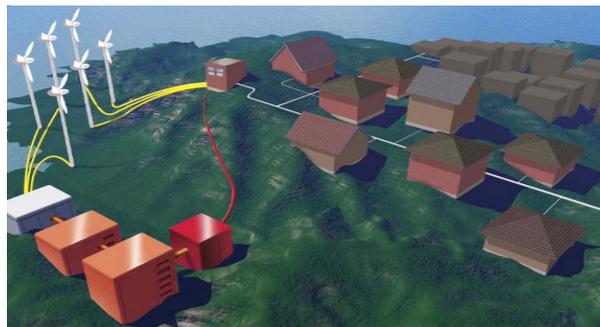
**Fonte:** CCHT, 2007. Disponível em [http://www.ccht-cctr.gc.ca/docs/ccht\\_construction.pdf](http://www.ccht-cctr.gc.ca/docs/ccht_construction.pdf)

O Centro é uma parceria entre o *National Research Council (NRC)*<sup>11</sup>, a *Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC)*<sup>12</sup> e o *Natural Resources Canada (NRCan)*<sup>13</sup> que financiaram U\$ 1,5 milhões. Os três edifícios onde foram implantadas as células foram projetados e construídos por *Minto Development Inc.*, a maior empresa construtora de produção de casas do Canadá. Os produtos e as técnicas desenvolvidas no Centro contribuirão para aumentar a eficiência energética e reduzir emissões de gases de estufa aliado a minimização de custos energéticos.

Segundo Alfonso Gagliano, ministro responsável pelo CMHC, o Centro Canadense de Habitação e Tecnologia é um excelente exemplo de como as agências governamentais podem em parceria com a indústria para avançar e melhorar a tecnologia de habitação. "Os produtos melhoram o interior de nossas casas, reduzem os custos, melhoraram conforto e são sustentáveis".

## Ilha de Prince Edward

A *Prince Edward Island Energy Corporation* e *Hydrogenics* (empresa canadense de fabricação de células) iniciaram uma parceria com a indústria e o governo do Canadá para desenvolver o primeiro sistema *wind-hydrogen* de demonstração em uma ilha do Canadá. A *Prince Edward Island (PEI) Wind-Hydrogen Village Project* é uma iniciativa para demonstrar como a tecnologia da energia eólica e do hidrogênio podem trabalhar em conjunto em condições reais para oferecer soluções energéticas limpas e sustentáveis em toda uma vasta gama de aplicações. A figura 78 abaixo mostra as turbinas eólicas e os tubos que levariam o hidrogênio obtido pela energia primária eólica às casas para fornecer energia elétrica.



**Figura 78:** PEI Wind-Hydrogen Village Project

**Fonte:** Fonte: KIMMEL, WICAC 2008.

As turbinas eólicas já existentes da região do Cabo Norte na ilha serão utilizadas diretamente para satisfazer as necessidades de eletricidade da ilha e para fornecer energia ao equipamento quando a energia eólica estiver sobrando, que através da eletrolise da água obtem-se o hidrogênio. A figura 79 mostra as turbinas na ilha. O hidrogênio será então utilizado em sistemas de células combustíveis (GOVERNO DE PEI, 2005). A figura 80 abaixo mostra uma turbina eólica e os tanques de hidrogênio, onde a energia é armazenada, atrás da casa de máquinas.



**Figura 79:** Turbinas eólicas existentes na PEI

**Fonte:** KIMMEL, WICAC 2008.

<http://www.gov.pe.ca/news/getrelease.php3?number=4080>



**Figura 80:** Casa de máquinas, turbina eólica e tanques de hidrogênio na PEI.

**Fonte:** CBC NEWS, 2009. Disponível em

<http://www.cbc.ca/canada/prince-edward-island/story/2009/05/20/pei-hydrogen-future.html>

## 7.2.2. Estados Unidos da América

### Califórnia

#### Cidade de San Diego

A instalação de 4 células de 250 kw MCFC à gás natural na rede de hotel *Sheraton San Diego* foi a maior instalação de células á combustível em âmbito comercial nos Estados Unidos. Foi instalada em 2005 e fabricada pela *FuelCell Ener* (FUEL CELLS 2000, 2009). A figura 81 abaixo mostram o hotel *Sheraton San Diego*:



**Figura 81:** Hotel *Sheraton San Diego*

**Fonte:** Sheraton, 2009. Disponível em <http://www.starwoodhotels.com/sheraton/property/overview/index.html?propertyID=127>

O projeto teve subsidio da *California Public Utilities Commission's* (CPUC) (Comissão de Serviços Públicos da Califórnia)<sup>14</sup> pelo programa *Self-Generation Incentive Program* (SGIP)<sup>15</sup> com apoio de até US\$1,25 milhões. O CPUC fornece incentivos para projetos de geração de energia distribuída pelo programa (SGIP). Incluem principalmente tecnologias de turbinas eólicas e células de combustível (CPUC, 2009).

O projeto tem parceira com a *Starwood Hotels and Resorts Worldwide Inc.* proprietária da rede de hotel Sheraton que fez a parceria nesse projeto para tornar sua rede de hotel energeticamente mais ecológica. O hotel tem 1044 quartos com energia elétrica gerada pela CaC e o calor fornecido aquece a piscina do hotel (FUELCELLS BULLETIN, 2005). A figura 82 a seguir mostra as 4 unidades de CaCs, que gera energia para o hotel:



Figura 82: As quatro CaCs instaladas no hotel *Sheraton San Diego*

Fonte: FUELCELLSWORK, 2009.

Disponível em <http://www.fuelcellsworks.com/Supppage3567.html>

## Ciadade de Post Falls

Uma CaC de demonstração foi instalada na *NeXthouse*, que é uma casa de amostra educacional para os profissionais da área de eficiência energética. A *Bonneville Power Administration (BPA)* criou a idéia da casa de demonstração e financiou cerca de US \$ 800.000, com a intenção de demonstrar ao público em geral e aos profissionais da construção, possibilidades para introdução de conceitos de eficiência energética.

---

**14** O *California Public Utilities Commission's (CPUC)*; é uma Comissão de Serviços Públicos de propriedade privada, que regulamenta serviços públicos no estado da Califórnia, incluindo empresas de energia elétrica, telecomunicações, gás natural e água. Além disso, o CPUC regulamenta imóveis, empresas de transporte de passageiros e segurança de travessia ferroviária (passarelas). A sede está localizada no Centro Cívico do distrito de San Francisco, e escritórios em Los Angeles e Sacramento.

**15** O programa *Self-Generation Incentive Program (SGIP)* (programa de incentivo para auto-geração) estabelece as políticas e procedimentos para os potenciais participantes do programa e outras partes interessadas. É o produto de um trabalho conjunto entre as empresas *Pacific Gas and Electric (PG&E)*, *Southern California Edison (SCE)*, o *Southern California Gas Company (SoCalGas)*, *California Center for Sustainable Energy (CCSE)*, *San Diego Gas & Electric (SDG & E)*, *California Energy Commission (CEC)* e *California Public Utilities Commission (CPUC, 2009)*. Oferece incentivos financeiros aos clientes que instalem certos tipos de geração de energia distribuída, limpa e renovável para satisfazer todas ou uma parte de suas necessidades energéticas.

A casa tem inúmeras tecnologias de eficiência energética, incluindo ventilação, iluminação, isolamento térmico e orientação solar. Também inclui materiais reciclados e sistema de captação de águas, que em conjunto, são aspectos de um edifício verde (FUELCELLS 2000, 2009).

A *Bonneville Power Administration* (BPA) tem sede em Portland, Oregon, e é uma agência federal sob o domínio do Departamento de Energia (DOE). Operam através de uma extensa rede de transporte e comercialização de infra-estrutura de energia elétrica, por ex. barragens, instalações nucleares, hidrelétricas e instalações eólicas (BPA, 2009).

A célula tipo PEM de demonstração foi produzida pela Idatech, e instalada em 1999. A casa pertencia ao *“the North Idaho Building Contractors Association 1999 Parade of Homes”* e tinha parceria com a *Kootenai Electric Cooperative (KEC)* a maior cooperativa elétrica em Idaho, membro da sociedade energética de Hayden, Idaho. Uma empresa privada, sem fins lucrativos (KEC, 2009). A figura 83 a seguir mostra a fachada da casa, chamada de NEXTHOUSE:



**Figura 83:** NEXTHOUSE

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2009. Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=528>

## New Jersey

### Cidade de Hopewell

A Célula foi instalada na *Solar-Hydrogen Home*, uma residência de 3 moradores do proprietário Mike Strizki que é engenheiro civil e desenvolveu o projeto da primeira casa norte-americana que funciona a partir da energia solar e hidrogênio desde 2006. A casa tem 15 anos e foi projetada para ser energeticamente eficiente (FUELCELL BULLETIN, 2006). A 84 figura abaixo mostra a fachada principal da casa:



**Figura 84:** Fachada da *Solar-Hydrogen Home*

**Fonte:** SCIENTIFICAMERICAN, 2008. Disponível em <http://www.scientificamerican.com/slideshow.cfm?id=hydrogen-house>

A célula é alimentada por painéis solares que estão localizados no telhado da garagem, o sistema pode ser conectado ou não à rede elétrica pública. O Excesso de eletricidade que é gerado durante o verão, produz hidrogênio a partir da eletrolise da água, esse hidrogênio é bombeado e armazenado em reservatórios localizados na propriedade. Nos meses mais frios, onde a energia solar enfraquece, o hidrogênio armazenado durante o verão serve para alimentar a célula combustível. A figura 85 abaixo mostra a casa no inverno, quando é alimentada exclusivamente por hidrogênio:



**Figura 85:** *Solar-Hydrogen Home* durante o inverno

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2009.

Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=959>

A célula é do tipo PEM de 5KW e produzida pela Plug Power, os sistemas de hidrogênio são fabricados pela *Proton Energy Systems* (FUELCELLS 2000, 2009).

O sistema de energia é constituído por 56 painéis solares no telhado garagem, e dentro há um pequeno eletrolizador (o dispositivo é do tamanho de uma máquina de lavar roupa) os reservatórios de hidrogênio são capazes de armazenar 538 mil metros cúbicos de hidrogênio e a célula possui um kit para poder abastecer um carro com o hidrogênio (SCIENTIFICAMERICAN, 2008). A figura 86 abaixo mostra o eletrolizador e a garagem onde esta o sistema com os painéis solares, a figura 87 mostra os tanques de armazenamento de hidrogênio na “quintal” da casa.



**Figura 86:** Eletrolizador e painéis solares.

**Fonte:** SCIENTIFICAMERICAN, 2008. Disponível em

<http://www.scientificamerican.com/slideshow.cfm?id=hydrogen-house>



**Figura 87:** Tanques de hidrogênio.

**Fonte:** SCIENTIFICAMERICAN, 2008. Disponível em <http://www.scientificamerican.com/slideshow.cfm?id=hydrogen-house>

Como pode-se notar na figura acima os tanques de hidrogênio ficam em um local perto da casa, mas poderia ser acoplado ao design da casa, como por exemplo, nas paredes, como “recheio”, ou no átrio (entre o forro e o telhado).

O estado financiou US\$ 250.000 mil sob o Programa de Energia Limpa de Nova Jersey (*Clean Energy Program*). O *New Jersey's Clean Energy Program (NJCEP)* promove o aumento da utilização da eficiência energética aplicada em edifícios e de tecnologias de geração de energia incluindo as fontes renováveis solar, eólica, geotérmica e biomassa. O resultado é economia de energia, menos poluição e custos mais baixos. O programa oferece incentivos financeiros para aplicação dessas tecnologias em edifícios residenciais ou comerciais (NJCEP, 2009). O proprietário investiu US\$ 100.000 e o restante foi financiado a partir de empréstimos de patrocinadores de empresas privadas.

## New York

### Cidade de Deer Park

A Long Island Power Authority (LIPA) juntamente com a empresa *Hunt Enterprises/McDonald's*, de produtos alimentícios, financiaram um projeto de demonstração com uma célula PEM de 5kW, fabricada pela *Plug Power* (FUELCELLS 2000, 2009). A figura 88 abaixo mostra o restaurante e o local onde célula foi implantada:



**Figura 88:** Restaurante McDonald's

**Fonte:** FUELCELLS 2000, 2009.

Disponível em <http://www.fuelcells.org/db/uploads/McDonalds1.jpg>

### Cidade de Kings Point

O Departamento de Energia promove o *Solar Decathlon*, uma competição em que equipes de estudantes universitários projetam, constroem e operaram uma casa com energia solar. A casa mais energeticamente eficiente ganha a competição. O Solar Decathlon é também um evento no qual o público é convidado para conhecer a tecnologia do sistema de energia solar e eficiência energética, aliadas a casa com melhor design (SOLARDECATHLON/DOE, 2009).

Na competição do ano de 2005, o vencedor foi a casa do *US merchant Marine Academy* dos alunos da *New York Institute of Technology (NYIT)* chamada "*Green Machine/Blue Space*". Os estudantes eram das áreas de engenharias, arquitetura, informática, relações públicas, marketing e outras disciplinas.

O USMMA financiou parte do projeto sob o programa *Alternative Power Program (APP)* que tem como objetivo incorporar tecnologias energéticas alternativas viáveis em sistemas para pesquisa e análise das universidades e indústrias (USMMA – APP, 2009).

A casa de demonstração fica no campus do *New York Institute of Technology's (NYIT)*, e atualmente é aberta ao público. A figura 89 a seguir mostra a casa de demonstração.



**Figura 89:** Projeto "Green Machine/Blue Space"

**Fonte:** APP/USMMA, 2009. Disponível em <http://app.usmma.edu/h2home.htm>

O projeto usa 54 painéis solares da marca *Sanyo HIT-200* que estão montados no telhado da casa. Cada painel tem 12,7 metros quadrados, ou seja, um total de 686 metros quadrados de área de captação de energia solar. Estes painéis foram projetados para maximizar a produção de energia com base em uma quantidade limitada de espaço para casas energeticamente auto-suficientes, que era uma regra para as equipes da competição.

Para transformar a energia dos painéis em hidrogênio foi utilizado um eletrolisador da marca *Proton Energy Systems*. Esta unidade converte a eletricidade em hidrogênio. O hidrogênio é armazenado em tanques de baixa pressão (200 psia) para ser utilizado em dias nublados, servindo de combustível para a célula de 5 KW fabricada pela *Plug Power*. A figura 90 abaixo mostra os tanques de armazenamento de hidrogênio utilizados no projeto.



**Figura 90:** Tanques de hidrogênio

**Fonte:** NYIT/USMMA – SOLAR DECATHLON 2005. Disponível em [http://iris.nyit.edu/solardecathlon2005/our\\_project/energy\\_systems.html](http://iris.nyit.edu/solardecathlon2005/our_project/energy_systems.html)

## 7.3. PROJETOS DA ÁSIA E OCEANIA

### 7.3.1. Austrália

#### **Tasmânia**

A Tasmânia é uma ilha e um estado australiano situado a 240 km da costa sudeste da Austrália. Sua superfície é de 65 022 km<sup>2</sup> e ela contava, em 2002, com uma população de 474 000 habitantes. Hobart é a capital e a maior cidade da Tasmânia. Os outros grandes centros populacionais são Launceston, Devonport e Burnie.

Produzida pela Ceramic Fuel Cells Ltd. a célula de 1KW SOFC a gás natural, fornece eletricidade e água quente suficiente para uma residência. Instalada no campo de teste da Powerco, tem como financiadora a Powerco, distribuidora de gás e eletricidade. Powerco é uma empresa sediada na Nova Zelândia, com operações na Nova Zelândia, Tasmânia, Austrália (FUELCELLS 2000 2009).

#### **Cidade de Melbourne**

Melbourne é uma área metropolitana. É a segunda mais populosa cidade da Austrália, com uma população de aproximadamente 3,9 milhões (estimativa 2008) e serve como a capital do estado de Victoria.

A Célula instalada em 2006 no edifício do escritório da Szencorp, a empresa é especialista em soluções de eficiência energética no ambiente construído e tecnologias de energias renováveis em edifícios comerciais. A célula de 1KW SOFC a gás natural é produzida pela *Ceramic Fuel Cells Ltd*. O edifício passou por um retrofit para ter o certificado de “Green Building” (OURGREENOFFICE, 2009). A figura 91 abaixo edifício do escritório da Szencorp:



Figura 91: Escritório da Szencorp

Fonte: SZENCORP LTD, 2009.  
Disponível em <http://www.szencorp.net>

## Cidade de Sydney

Sydney é a mais populosa cidade da Austrália, com uma população, em sua área metropolitana, de aproximadamente 4,28 milhões de pessoas (estimativa 2006). É a capital do estado de Nova Gales do Sul e foi o local escolhido para a primeira colônia britânica na Austrália. Está localizada a 300km da capital do país, Camberra. Sydney está situada na costa sudeste da Austrália.

A Célula de 200 KW PAFC a gás natural produzida pela UTC Power, foi instalada em 1998, a primeira da Austrália, localizada no Australian Technology Park, é parte do *U.S. Department of Defense - Climate Change Fuel Cell Program*, fornece eletricidade para o centro médico, laboratórios e sistemas computacionais dentro do parque. O parque é um conjunto de edifícios onde se situam mais de 100 empresas de alta tecnologia sócias–inquilinas com apoio de universidades e do governo estadual e federal (FUEL CELLS 2000, 2009).

## 7.3.2. Japão

### Cidade de Tokyo

Várias células foram instaladas pelo projeto *JGA Stationary PEFC Millennium Project*. O Japan Gas Association (JGA) produz e vende gás e promove o desenvolvimento do gás no Japão. O gás é um importante setor no Japão no fornecimento de energia.

Em 2002, a JGA iniciou o projeto de demonstração de células. O objetivo do projeto é desenvolver células de combustível para uso residencial. Os parceiros neste projeto incluem as empresas Matsushita Electric Industrial Co., Toshiba, Toyota Motor Corporation, Sanyo Denki, Mitsubishi Electric, Plug Power e Ebara Ballard.

### Cidade de Nagoya

A célula instalada no final dos anos 90 no *Nagoya Sakae Washington Hotel Plaza* reduziu o custo da energia em 40 por cento. A energia fornecida é usada para aquecer a água quente e para o ar condicionado. A célula é do tipo PAFC de 100 KW foi fabricada pela Fuji Electric. Foi parceira do projeto a empresa Tokyo Gás (NORIYUKI, YOSHIMI, 2000). A figura 92 abaixo mostra o prédio do hotel onde foi instalada a célula:



**Figura 92:** Nagoya Sakae Washington Hotel Plaza

**Fonte:** in [http://web.travel.rakuten.co.jp/portal/my/info\\_page\\_e.Eng?f\\_no=1045](http://web.travel.rakuten.co.jp/portal/my/info_page_e.Eng?f_no=1045)

## Cidade de Osaka

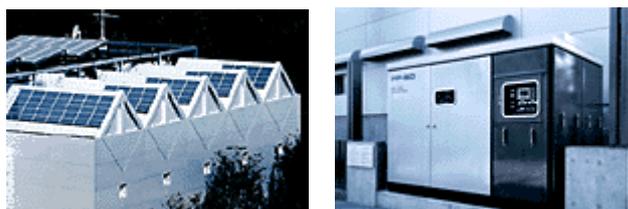
O *Global Environment Center Foundation* (GEC), órgão do governo da cidade de Osaka que pesquisa soluções para a conservação do meio ambiente, introduziu um novo sistema de energia na construção de sua sede, que foi concluída em Setembro de 1993. Usando este sistema, toda energia elétrica do edifício é a fornecida por uma célula combustível alimentada por hidrogênio e energia solar. A figura 93 abaixo mostra o edifício do GEC externo e a parte interna (atrium) (GEC, 2009).



**Figura 93:** Edifício do GEC.

**Fonte:** GEC, 2009. Disponível em <http://gec.jp/gec/gec.nsf/en/Organization-Building>

A célula PAFC de 50 kW usa a cogeração e foi fabricada pela empresa Fuji Electric. A figura 94 baixo mostra os painéis solares instalados no teto do edifício e a célula.



**Figura 94:** Painéis solares e célula do edifício da GEC, Japão.

**Fonte:** GEC, 2009. Disponível em <http://gec.jp/gec/gec.nsf/en/Organization-Building>

Outra célula foi instalada no *NEXT21 experimental condominium*. A célula PEM de 5KW fornece água quente e eletricidade para 7 apartamentos. Foi fabricada pela Plug Power e instalada em 2002 (FUELCELLS 2000, 2009). A figura 95 a seguir mostra o edifício onde a célula foi instalada:



**Figura 95:** *NEXT21 experimental condominium*

**Fonte:** Japan Gás Associacion, 2009. Disponível em [http://www.gas.or.jp/english/letter/images/09/pdf/headlines\\_01.pdf](http://www.gas.or.jp/english/letter/images/09/pdf/headlines_01.pdf)

## 7.4. PROJETOS NO BRASIL

O Brasil apresenta grandes oportunidades para a criação de uma infra-estrutura baseada no hidrogênio, energias renováveis e células a combustível, pois é um país com abundância em sol, vento, água, e fácil acesso ao mar. Além disso, o país possui forte investimento no etanol da cana de açúcar, que pode servir também de fonte para o hidrogênio.

Por estas razões, algumas instituições brasileiras já estão pesquisando e desenvolvendo células a combustível e equipamentos para produção de hidrogênio. O país já possui células a combustível, importadas e nacionais, instaladas para fornecer energia de backup em alguns hospitais e centros de dados desde 2001. Também existem projetos de ônibus e protótipos de automóveis movidos por células a combustível sendo pesquisados ou em desenvolvimento.

No entanto, o governo brasileiro possivelmente não investirá no desenvolvimento de veículos de pequeno porte movidos por células a combustível, pois as grandes empresas automobilísticas internacionais já estão desenvolvendo e investindo bilhões de dólares. Com isso ocorrerá a importação de boa parte da tecnologia de células a combustível para aplicação automobilística. Apesar disso, Temos que desenvolver a tecnologia de infra-

estrutura para estes automóveis, como postos de combustíveis, eletrolisadores e grandes reformadores de etanol para a produção de hidrogênio.

As tecnologias de células a combustível mais pesquisadas no Brasil são a PEMFC (membrana de troca de prótons) e a SOFC (célula a combustível de óxido sólido), sendo que a tecnologia PEMFC nacional já está bem mais avançada que a SOFC. As pesquisas com etanol estão voltadas principalmente à reforma deste combustível para obtenção de hidrogênio.

Em 2005 o Ministério de Minas e Energia entregou ao IPHE (Parceria Internacional Para A Economia do Hidrogênio) um “Roteiro Para A Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil”, mas com foco em pesquisa e desenvolvimento e de responsabilidade do Ministério da Ciência e Tecnologia. O MCT investiu de 2004 a 2007, aproximadamente 29 milhões de Reais no “Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio”, antigo PROCAC (Programa de Células a Combustível) (NETO, 2007).

Na cidade de Curitiba, três células a combustível de 200 kW estão instaladas em três diferentes locais. Uma delas, instalada no Hospital Erasto Gaertner, centro de referência no tratamento do câncer na região Sul. Já no Hospital Erasto Gaertner, o gás natural é canalizado e o hidrogênio liberado pelo processo de "reforma a vapor", que ocorre dentro da célula a combustível de 200 kW (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INSTITUIÇÕES FILANTRÓPICAS DE COMBATE AO CÂNCER, ABIFCC, 2009).

Além de suprir em torno de 85% das necessidades de iluminação do hospital, o gerador fornece água quente para cozinha, quartos e banhos. O projeto é financiado pela Copel (Companhia Paranaense de Energia) e a manutenção e operação realizada pelo Lactec (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento). O gás natural é fornecido pela Compagás, empresa de distribuição de gás. A figura 96 abaixo mostra as instalações da célula no hospital:



**Figura 96:** Célula do hospital Erasto Gaertner

**Fonte:** PORTALH2, 2007. Disponível em <http://www.portalh2.com.br/prtlh2/images/artigos/a39.pdf>

As próximas figuras 97 e 98 mostram a célula PAFC instalada nas dependências da COPEL e LACTEC respectivamente:



**Figura 97:** célula da COPEL

**Fonte:** PORTALH2, 2007.  
<http://www.portalh2.com.br/prtlh2/images/artigos/a39.pdf>



**Figura 98:** Célula da LACTEC

**Fonte:** PORTALH2, 2007.  
<http://www.portalh2.com.br/prtlh2/images/artigos/a39.pdf>

Um ônibus movido a hidrogênio começou a rodar no mês de junho numa linha convencional urbana entre os bairros do Jabaquara, na zona Sul de São Paulo, e São Mateus, na zona Leste, passando pelos municípios de São Bernardo do Campo, Diadema, Santo André e Mauá, dentro da Região Metropolitana de São Paulo (REVISTA FAPESP, 2009). A ilustração 99 a seguir mostra o ônibus:



**Figura 99:** Ônibus à hidrogênio.

**Fonte:** Revista FAPESP, 2009. Disponível em <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3882&bd=1&pg=1&lg>

O ônibus foi montado no Brasil com financiamento do Global Environment Facility (GEF), ou Fundo Global para o Meio Ambiente, uma agência ligada ao Banco Mundial, que financia iniciativas de desenvolvimento sustentável em vários países. O objetivo aqui é incorporar, integrar e desenvolver tecnologia de uso do hidrogênio como combustível e preparar as empresas para esse futuro mercado (REVISTA FAPESP, 2009).

Na Europa, desde 2004, o projeto Clean Urban Transport for Europe (Cute), ou Transporte Urbano Limpo para a Europa, financiado pela União Europeia, permitiu que 38 ônibus Citaro movidos a hidrogênio circulassem por nove cidades como Londres, Madri, Barcelona, Amsterdã, Hamburgo, Stuttgart, Luxemburgo, Porto e Estocolmo. Celula PEM da Ballard. Entre as empresas nacionais investidoras no projeto estão a Petrobras e a Eletropaulo. As duas estão envolvidas na unidade de produção do hidrogênio. O abastecimento do ônibus será feito na garagem da EMTU em São Bernardo do Campo,

Essa unidade de produção e abastecimento é oriunda da empresa canadense Hydrogenics, especializada na produção de hidrogênio por eletrólise.

De acordo com o PROCAC, 2005 os projetos mais significativos de CaCs no Brasil são:

1. Programa Brasileiro de Células a Combustível (PROCaC) - Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) (Fundos Setoriais - R\$ 7 milhões em 2005).
  - a. Projeto de Formação das Redes Cooperativas;
  - b. Projeto Reformador de Etanol desenvolvido pela - INT / IPEN / CEPEL / COPPE;
  - c. Projeto de apoio à infra-estrutura de laboratórios;
  - d. Formação de Recursos Humanos (Bolsas de Mestrado e Doutorado);
2. Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) / Companhia hidroelétrica do São Francisco (CHESF) - Célula a combustível de 5kW-PEM fabricada pela empresa nacional ElectroCell, com reformador de gás natural (USA);
3. AES.Eletropaulo - Célula a combustível de 50 kW tipo PEM fabricada pela ElectroCell.
4. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e Companhia Paranaense de Energia (COPEL) - 3 Unidades de célula a combustível tipo PAFC de 200 kW cada fabricada pela empresa norte americana UTC, alimentadas com gás natural.
5. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (Petrobrás) - 1 Unidade de célula a combustível tipo PAFC de 200kW fabricada pela empresa UTC, alimentada com gás natural.
6. Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) / CLAMPLER, empresa mineira privada de equipamentos de proteção contra sobretensões elétricas transitórias / UNITECH empresa paulista privada de CaCs / USP - São Carlos – protótipos de células tipo PEM.

7. CEMIG/UNICAMP - Produção de hidrogênio por reforma de etanol e por eletrólise da água (Laboratório Na Usina Térmica de Igarapé).
8. CENPES (Petrobrás) - Célula a combustível de 5kW-PEM fabricada pela empresa UNITECH.
9. UNICAMP/ Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH) /MME - Produção de hidrogênio por reforma de etanol e por eletrólise; e projeto VEGA de carro de passeio (híbrido - bateria e CaC).
10. MME/EMTU/PNUD/GEF- Projeto de ônibus urbano na Cidade de São Paulo - 8 ônibus - células a combustível fabricadas pela empresa Ballard -hidrogênio produzido por eletrólise.
11. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE-UFRJ) / LACTEC/ Petrobras / ELEBRA empresa paulista de informática - Projeto de um protótipo de ônibus urbano -hidrogênio produzido por reforma de gás natural.
12. Fundos Setoriais e Órgãos de Fomento:
  - A. Fundo Setorial de Petróleo e Gás Natural (CTPetro) - parceria entre Empresas e Universidades, Instituições de Ensino Superior ou Centros de Pesquisa do país, financiadas pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq.);
  - B. Fundo Setorial de Energia (CTEnerg) – FINEP e CNPq;
  - C. CT-Verde-Amarelo - Programa de Estímulo à Interação Universidade-Empresa para Apoio à Inovação;
  - D. CNPq;
  - E. Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPESP); etc.

O Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas (PIPE) da FAPESP financiou em 2001 o projeto denominado “Materiais Avançados para Fabricação de Separadores Bipolares para Células a Combustível de Polímero Condutor Iônico”

coordenado por Antonio César Ferreira da empresa UNITECH. A apresentação dessa célula a combustível, que usa tecnologia desenvolvida no Brasil, é um marco importante para o país porque em todo o mundo busca-se o aperfeiçoamento técnico e a expansão do uso desse equipamento no país. Com o financiamento de R\$ 197 mil e US\$ 77 mil do PIPE, foi montada a empresa UNITECH e seu laboratório para desenvolver e aprimorar a tecnologia das CaCs (REVISTA FAPESP, 2001). A figura 100 abaixo mostra essa célula desenvolvida pela empresa UNITECH:



**Figura 100:** Células da UNITECH LTDA.

**Fonte:** arquivo pessoal.

A tabela 07 a seguir traz um resumo dos projetos de CaCs no Brasil para geração de energia distribuída estacionária, explicitando a tecnologia empregada na célula, os participantes que viabilizaram o projeto e a potência da célula:

**Tabela 07:** Projetos brasileiros com células a combustível para geração estacionária.

<b>Item</b>	<b>Descrição / Tecnologia</b>	<b>Participantes</b>	<b>Potência [kW]</b>
1.	Projeto de demonstração de 3 células a combustível, tipo PAFC, alimentadas com gás natural, fabricada nos EUA.	COPEL e LACTEC	600
2.	Projeto de demonstração de tecnologias de geração distribuída, envolvendo uma 1 célula a combustível, tipo PAFC, alimentada a gás natural, fabricada nos EUA.	CENPES	200
3.	Projetos de desenvolvimento de células a combustível de pequeno porte, tipo PEM.	CEMIG, EESC/USP, CLAMPLER e UNITECH	1,5
4.	Projeto de desenvolvimento de células a combustível, tipo PEM, alimentada por hidrogênio eletrolisado.	AES ELETROPAULO e ELECTROCELL	50
5.	Projetos de demonstração de célula a combustível para pequenas comunidades na Amazônia, tipo PEM.	ELETRONORTE e UFPA UNICAMP e UFAM UNICAMP e UFMT	11
6.	Projeto de demonstração de célula a combustível, tipo PEM, alimentada por gás natural, fabricada nos EUA.	CPFL, LACTEC e UNICAMP	6
7.	Projeto de demonstração de célula a combustível, tipo PEM, fabricada no Brasil, alimentada com gás natural e com reformador importado dos EUA.	CEPEL, CHESF e ELECTROCELL	5
8.	Projeto de desenvolvimento de célula a combustível, tipo PEM.	LIGHT e UNITECH	10

**Fonte:** MME, 2005. Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil.

## 8. CONCLUSÕES

As células a combustível representam hoje uma das mais importantes ferramentas de geração de energia que utiliza principalmente o hidrogênio como combustível. Não se pode hoje fazer qualquer análise da situação das células a combustível no mundo que não contemple uma avaliação do cenário mundial do hidrogênio, sua produção, armazenamento, distribuição e uso. O mundo está caminhando em direção a um futuro onde a energia será sustentável. Neste contexto, o hidrogênio pode revolucionar a forma de como a energia é utilizada e distribuída hoje em dia. Ele tem sido considerado o “combustível perfeito” pois não é poluente e pode ser produzido a partir da energia solar e ou eólica, oferecendo para a humanidade uma fonte inesgotável de energia renovável.

No entanto, a tecnologia ainda está em fase de desenvolvimento, ainda mais no que se diz respeito ao custo e todos os projetos são ainda de testes. Os principais centros de pesquisa encontrados sobre células combustíveis como opção limpa de gerar energia foram:

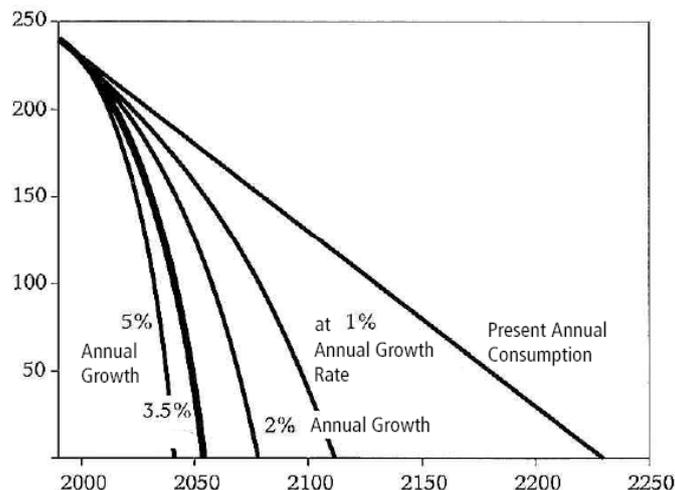
### **EUROPA**

Como visto nos projetos revisados na Europa, a Alemanha é o país que tem mais projetos de demonstração. O país possui o desenvolvimento de células do tipo PEM e SOFC à gás natural para pequenas estacionárias. A infra-estrutura do gás natural já formada no país permite que na maioria dos projetos de demonstração de CaCs sejam alimentadas por gás natural. Porém, esse fato não prejudica as pesquisas e o desenvolvimento da introdução de novas matrizes energéticas como no caso do hidrogênio. O hidrogênio é para os países desenvolvidos, o combustível escolhido para o futuro.

O Ministro do Transporte Alemão Wolfgang Tiefensee diz que o governo alemão confirma o hidrogênio e as células a combustível como parte integrante do futuro: *He confirmed the German government's continued commitment to hydrogen and fuel cells as*

*an integral part of future* (European Hydrogen Association - EHA, 2009). O gráfico 04 abaixo confirma a diminuição da utilização de gás natural ao longo dos anos:

Gráfico 04: Gás natural e sua depreciação.



**Fonte:** HYDROGEN ACTIVITIES  
IN THE EUROPEAN UNION AND GERMANY  
H2NET-Symposium - 13 June 2001.

Os projetos europeus recebem apoio da Comissão Europeia no âmbito de vários programas governamentais, portanto com financiamentos públicos juntamente com a técnica das empresas privadas.

## ESTADOS UNIDOS E CANADÁ

Os EUA apesar de ser o maior gerador de poluentes para atmosfera se encontram em plena pesquisa para desenvolver as células para gerar energia sem poluição. Há uma maior penetração de células para Backup de energia no mercado americano. A tecnologia mais utilizada é a PEM, e em seguida a SOFC abastecida com gás natural para gerar energia em residências, devido à infra-estrutura do GN já formada. Em curto prazo o combustível mais utilizado será o GN, pois a tecnologia é mais barata e em quase todos os países já existem redes de distribuição do gás. No Canadá há um forte apoio para a introdução do combustível hidrogênio na matriz energética nacional. Na mesma linha dos outros países, a tecnologia mais usada para abastecimento de energia residencial é a SOFC à gás natural.

## **JAPÃO**

O Japão é o país mais desenvolvido na introdução de células para o segmento residencial, pois as grandes empresas automobilísticas se encontram nesse país, e o apoio destas para com o desenvolvimento rápido das células é muito grande. A tecnologia mais empregada é a PEM e a SOFC, respectivamente abastecidas por hidrogênio e gás natural.

## **SOBRE AS CÉLULAS À COMBUSTÍVEL**

### **1. Aumento da demanda**

O aumento da demanda por CaCs se deve principalmente pela penetração das células a combustível no mercado de backup norte-americano e pela ampliação do programa residencial japonês de células a combustível.

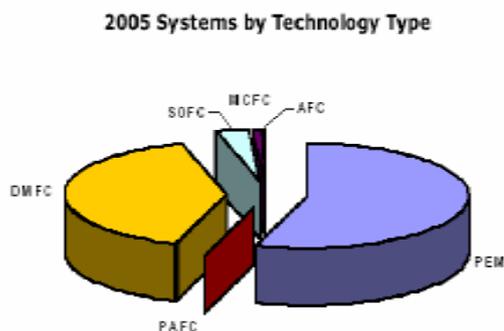
O Japão tem mais interesse em células a combustível residenciais e os EUA em células para backup. Já a Europa tem atuado nos dois nichos de mercado. O interessante é que a Alemanha, um dos países que mais investem na tecnologia de células a combustível, há poucas empresas desenvolvendo células estacionárias de pequeno porte. Talvez por investir mais na tecnologia de painéis solares fotovoltaicos, que é um grande sucesso neste país.

Companhias brasileiras do setor bancário, de telecomunicações, metalurgia e hospitais, dentre outros setores que precisam de energia elétrica de backup com confiabilidade, estão começando a prestar atenção nas células a combustível como uma nova opção na atualização, substituição ou construção de novos sistemas de backup em suas unidades.

Outro fator do aumento da demanda é o aproveitamento do rejeito térmico (cogeração - aquecimento ou refrigeração) que aumenta a competitividade das CaCs.

## 2. Tipo de CaC mais utilizada

As tecnologias mais pesquisadas pelas empresas de células a combustível são a PEMFC e a SOFC, sendo a primeira tecnologia a mais utilizada. Entretanto, a SOFC tem alcançado resultados bem satisfatórios, como observado no programa americano de células a combustível de óxido sólido, SECA. A figura abaixo mostra a relação dos tipos de CaCs que estão sendo mais usados.



**Figura:** Tipos de CaC mais usadas.

**Fonte:** GERHARD ETT, 2006. WICaC

No Brasil nenhuma empresa privada está desenvolvendo a tecnologia SOFC, ao contrário da tecnologia PEMFC, porém várias instituições têm desenvolvido a tecnologia como por exemplo, a Universidade Federal de Itajubá, que adquiriu uma célula de 5 kW em 2005; o IPEN que já construiu uma célula unitária; a COPPE-UFRJ; a UFMG/CEMIG, a UNESP, a UFPA, dentre outras instituições.

## 3. Combustível mais utilizado nas CaCs

A possibilidade de adaptação ao combustível disponível em cada região que a adota é um dos seus pontos fortes. As opções são cada vez mais crescentes, embora as opções renováveis ainda estejam por vir.

A maior parte das células a combustível instaladas no Japão utiliza combustíveis fósseis, tais como: o gás natural, o querosene, o GLP e o gás da rede pública da cidade (carvão carbonizado). Nos EUA e na Europa, tem-se utilizado mais o gás natural e, em

alguns casos, o querosene e o diesel. Isso se deve por esses países já terem uma infraestrutura pronta para o gás natural.

Em paralelo, tem-se utilizado o etanol, energia solar e a eólica como fonte de hidrogênio em alguns projetos laboratoriais. Além disso, as células para backup de energia elétrica, em sua grande maioria, utilizam diretamente o hidrogênio comercial armazenado em cilindros de compressão.

#### **4. Potência das células**

A maior parte das células a combustível que estão sendo utilizadas para geração de energia elétrica e de aquecimento em residências têm potência entre 1 a 5 kW. Já as células a combustível para backup de energia elétrica têm, em sua maioria, potência de 1 kW. Todavia, como existem inúmeras empresas atuando neste segmento, pode-se encontrar uma ampla faixa de opções com até 10 kW.

O tamanho das células para as pequenas estacionárias variam de 1 a 20 kW de potência, o que ocasionalmente para uma residência convencional de 4 moradores, a célula a combustível a ser instalada fica no tamanho entorno de 5 kW.

O **mercado brasileiro** tem a oferecer neste momento, para as células a combustível, a utilização dessas como backup de energia elétrica em hospitais, servidores de Internet, sistemas de telecomunicações, edifícios inteligentes, dentre outros setores que necessitam de energia de backup com qualidade, confiabilidade e custo competitivo (PORTALH2, 2008). Empresas como a Vivo (telecomunicações) e a Villares Metals (siderurgia), já experimentam no Brasil as células a combustível para fornecimento de energia emergencial.

Como o sistema elétrico brasileiro difere da maioria dos países desenvolvidos, pela predominância da geração hidráulica de energia elétrica, a busca para minimizar a emissão de gases nocivos ao meio ambiente é menor do que a dos países desenvolvidos. Portanto não há fortes fatores ambientais que pressionem o emprego de CaC na geração estacionária de energia. No entanto, o sistema elétrico brasileiro não atende toda a

população e a necessidade da energia distribuída para atender lugares isolados é um fator que favorece a introdução das células a combustível no país. O fornecimento de energia elétrica a consumidores isolados através de CaC será viável ou competitivo caso ocorram, simultaneamente, reduções de custo, disponibilidade local de combustível, facilidade operacional e serviços de apoio.

A produção de hidrogênio a partir da reforma do gás natural constituir-se-á numa etapa de transição para a produção do hidrogênio de fontes renováveis. Os veículos elétricos utilizando células a combustível abastecidas com hidrogênio serão uma realidade no trânsito das grandes cidades brasileiras e o uso de gás natural como fonte de hidrogênio será uma alternativa para o abastecimento desses veículos (MME, 2005).

## **5. Mudanças na arquitetura**

Para os arquitetos fica a tarefa de escolha para disponibilizar os locais, por exemplo, em uma residência, dos painéis solares e ou turbinas eólicas, do armazenamento de hidrogênio, e dos próprios aparelhos que fazem parte do sistema (célula combustível, eletrolizador, etc) deve haver uma integração desses novos elementos de produção, geração e distribuição de energia com o edifício. Assim como há a necessidade de conscientização dos profissionais para que no momento de projetar se preocupem com um desenho de edifício em que se aproveite ao máximo os elementos naturais para fornecimento de luz e refrigeração/ aquecimento para o conforto dos usuários.

Já no âmbito das cidades haverá uma mudança se os edifícios não precisarem mais ser conectados à rede, pois poderão produzir e armazenar sua própria energia, vale lembrar ainda que os veículos poderão ser abastecidos “em casa”.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ENERGIE (França).

**Bâtiment et Démarche HQE2004**. 20p. Disponível em:

<<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&m=3&cid=96>> . Acessado em 25 de novembro de 2008.

AMARAL, E. G. do; **O sistema “solar-hidrogênio” como fonte de energia para veículos: o protótipo Vega**. 1994. Dissertação de mestrado - Faculdade de engenharia elétrica – Universidade de Campinas. Campinas.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/>>. Acessado em 29 de abril de 2009.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica**. 2º Edição. Disponível em: <[http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas\\_2edicao/download.htm](http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas_2edicao/download.htm)>. Acessado em 30 de setembro de 2008.

ALTERNATIVE ENERGY INSTITUTE, Inc. **Hydrogen and Fuel Cells**. [serial online] 2002;[16 screens] Disponível em:

<[http://www.altenergy.org/2/renewables/hydrogen\\_and\\_fuel\\_cells](http://www.altenergy.org/2/renewables/hydrogen_and_fuel_cells)>. Acessado em 12 de dezembro de 2008.

ANSALDO FUEL CELLS. Disponível em: <<http://www.ansaldofuelcells.com/en/index.htm>>. Acessado em 5 de janeiro de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INSTITUIÇÕES FILANTRÓPICAS DE COMBATE AO CÂNCER. **Notícias**. Disponível em:

<<http://www.abifcc.org.br/oldnews/noti19072004.html>>. Acessado em 14 de maio de 2009.

BALCKE-DUERR LTDA. Disponível em: <[http://www.balckeduerr.com/index\\_start\\_en.php](http://www.balckeduerr.com/index_start_en.php)>. Acessado em 6 de Janeiro de 2009.

BENTLEY J, DERBY R. (2002). **Ethanol & Fuel Cells: Converging Paths of Opportunity**. (Washington, DC); 2002. Prepared by The Renewable Fuels Association which seek to promote the advantages of renewable ethanol as a fuel source for fuel cells, reducing fossil fuel. University of Michigan.

BINDER, M.J.(2003) **DOD - Stationary Fuel Cell Demonstration Program**. In: National Organizing Workshop For State Fuel Cell Managers. Washington, DC. February 12-13, 2003.

BIRTE HOLST JØRGENSEN. **H2 R&D Activities in the Nordic Countries**. Department of Systems Analysis, Riso National Laboratory, 2003.

BOYLE, G. **Renewable energy: power for a sustainable future**. Ed. Oxford. 2º edition. London, United Kingdom, 2004.

BONNEVILLE POWER ADMINISTRATION (BPA). Disponível em:  
<<http://www.bpa.gov/corporate/>>. Acessado em 18 de abril de 2009.

CALIFORNIA HYDROGEN BUSINESS COUNCIL (CHBC). **Fuel Cell handbook**.; [8 screens]. Available from: <URL:<http://www.ch2bc.org/FCHandbook/TechOver1-1FCDesc.htm> > Acessado em outubro de 2008.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Air Resources Board. Disponível em: <<http://www.arb.ca.gov/cc/ghgsectors/ghgsectors.htm#electric>>. Acessado em 18 de maio de 2009.

CALIFORNIA FUEL CELL PARTNERSHIP. Disponível em:  
<<http://www.fuelcellpartnership.org/>>. Acessado em 3 de janeiro de 2009.

CALIFORNIA STATIONARY FUEL CELL COLLABORATIVE. Disponível em:  
<<http://www.casfcc.org/Default.aspx>>. Acessado em 2 de maio de 2009.

CALIFORNIA STATIONARY FUEL CELL COLLABORATIVE (CASFCC) 2009. Disponível em: <[http://www.casfcc.org/STATIONARY\\_FC\\_MAP/FCinstallationsTXT.aspx](http://www.casfcc.org/STATIONARY_FC_MAP/FCinstallationsTXT.aspx)>. Acessado em 15 de março de 2009.

CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION. Self-generation Incentive Program. Disponível em: <<http://www.cpuc.ca.gov/PUC/energy/DistGen/sqip/>>. Acessado em 25 de janeiro de 2009.

CANADIAN CENTRE FOR HOUSING TECHNOLOGY. Disponível em: [http://www.ccht-cctr.gc.ca/docs/ccht\\_construction.pdf](http://www.ccht-cctr.gc.ca/docs/ccht_construction.pdf)> . Acessado em 17 de abril de 2009.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia. **Programa brasileiro de células a combustível**. Rio de Janeiro; 2002. (Proposta para o Programa coordenada pelo CGEE)

CENTRO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – CRES. Disponível em:  
<[http://www.cres.gr/kape/present/present\\_uk.htm](http://www.cres.gr/kape/present/present_uk.htm)>. Acessado em 7 de janeiro de 2009.

CENTER FOR SUSTAINABLE ENERGY CALIFORNIA, **Self-Generation Incentive Program**, 2009. disponível em :< <http://energycenter.org/index.php/incentive-programs/self-generation-incentive-program>>. Acessado em 15 de julho de 2009.

CERAMIC FUEL CELLS, POWERCO. **Trans-Tasman trials of Australian fuel cells**. Brief Article) Australasian Business Intelligence, December, 2004.

CIDETEC - CENTRE FOR ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGIES. Disponível em: <<http://www.cidetec.es/presentacion/03organizacion.htm>>. Acessado em 20 de maio de 2009.

CLARK, Woodrow. ISHERWOOD, William. **Distributed generation: remote power systems with advanced storage technologies**. United Kingdom: Elsevier – Energy Policy, v. 32, n.15, p. 1573-1589, oct. 2004.

CONTADINI F. **P & D e o estado da arte de células a combustível na América do Norte**. Apresentada ao Workshop Internacional de Células a Combustível no Centro de Convenção da UNICAMP; 2002 out 31, Campinas. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh> > Acessado em out. de 2008.

COMISSÃO DE ANÁLISE DO SISTEMA HIDROTÉRMICO DE ENERGIA ELÉTRICA (CASHEE) – **Relatório: O desequilíbrio entre oferta e demanda de energia elétrica**. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, 2001.

COMMUNAUPOLE DE LENS LIÉVIN. Disponível em: <<http://www.communaupole-lenslievin.fr/>>. Acessado em 12 de fevereiro de 2009.

COOK, JEFFREY. Millennium Measures of Sustainability: Beyond Bioclimatic Architecture - In: Proceeding of PLEA 2001 Conference – The 18<sup>th</sup> International Conference on Passive and Low Energy Architecture – **Renewable Energy for a Sustainable Development of built Environment**, November 7 to 9, 2001, Florianopolis, Brasil, p.37-44.

CORBELLA, Oscar. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio e Salvo Brito. **Potencial energético solar**. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm)>. Acessado em 20 de outubro de 2008.

DE ARAÚJO, M.S.M.; DE FREITAS, M.A.V..ET AL. **Acceptance of renewable energy innovation in Brazil – case study of wind energy**. Renewable & sustainable energy reviews. 2006.

DELUCHI, M.A. “Hydrogen vehicles:na evaluation of fuel storage, performance safety, environmental impacts and cost”. **International Journal of hydrogen energy**, vol.14, n2, pg81-130. Pergamon Press, 1988.

DEL CARLO, Ualfrido. (2001). **Arquitetura e desenvolvimento verde - considerações sobre as questões de sustentabilidade**. Sinopses São Paulo, n.especial, p.13-23, out.

DINIZ, José Henrique; QUADROS, Sebastião V. T. de; CARVALHO, André M. **Célula a combustível de polímero condutor iônico: a primeira desenvolvida na América Latina**. Eletricidade Moderna, São Paulo, maio./2004, nº 362, p. 78-89.

DOE - UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy – To 2030 and Beyond**, February 2002. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells>>. Acessado em 12 de Maio de 2009.

\_\_\_\_\_. **Hydrogen production – basics**. December 2008, Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/>. Acessado em 12 de janeiro de 2009.

\_\_\_\_\_. **The Survey of the Economics of Hydrogen Technologies**. September 1999, Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/>>. Acessado em 12 de Maio de 2009.

\_\_\_\_\_. **Hydrogen Storage Costs of Storing and Transporting Hydrogen**. November 1998, Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/>>. Acessado em Maio de 2009.

\_\_\_\_\_. **Realizing a Hydrogen Future – Hydrogen Technical Advisory**. Disponível em: <<http://www.energy.gov/about/index.htm>>. Acessado em janeiro de 2009.

\_\_\_\_\_. **About DOE**. Disponível em: <<http://www.energy.gov/about/index.htm>>. Acessado em 15 de janeiro de 2009.

DOT - UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Clean Air Program: Design Guidelines for Bus Transit Systems Using Hydrogen as an Alternative Fuel**, October 1998. Disponível em: <<http://www.transitsafety.volpe.dot.gov/Publications/CleanAir/BTS/BTSDesignGuidelines.htm>>. Acessado em 10 de Outubro de 2008.

DROLETA, J. GRETZB, D. KLUYSKENS, F. SANDMANN AND R. WURSTER. The euro-québec hydro-hydrogen pilot project [EQHPP]: demonstration phase B. **International Journal of Hydrogen Energy**. Volume 21, Issue 4, April 1996, Pages 305-316.

DUNN, S. **Iceland sees the future – in hydrogen**, 2000, Worldwatch Institute.

EUROPEAN HYDROGEN ASSOCIATION. Disponível em:  
<<http://www.h2euro.org/2009/04/1117>>. Acessado em 10 de outubro de 2009.

EUROPEAN GREEN CITIES NETWORK (EGCN). s/d. Copenhagen. Disponível em:  
<<http://www.europeangreencities.com/>>. Acessado em 21 outubro de 2008.

EERE – OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. Disponível em:  
<[http://www1.eere.energy.gov/office\\_eere/](http://www1.eere.energy.gov/office_eere/)>. Acessado em 15 de Janeiro de 2009.

ELETRORBRÁS. **Programa Nacional de conservação de Energia Elétrica (PROCEL)**.  
Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp>>. Acessado em 15 de maio de 2009.

ELKRAFT LTDA. Disponível em: <<http://www.elkraft.no/?O=6>>. Acessado em 24 de janeiro de 2009.

ENEA - ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES. Disponível em:  
<<http://www.enea.it/com/ingl/default.htm>>. Acessado em novembro de 2008.

ENERGY AG. OBEROSTERREICH. Disponível em: <<http://energieag.at>>. Acessado em novembro de 2008.

ENERGIE PORTAL24. **Österreich: 1. Brennstoffzellen Heizgerät in Salzburg**. 2004.  
Disponível em: <[http://www.energieportal24.de/artikel\\_1133.htm](http://www.energieportal24.de/artikel_1133.htm)> Acessado em 15 de fevereiro de 2009.

ENERGY NEWSDATA. Disponível em:  
<<http://www.newsdata.com/enernet/conweb/conweb44.html#cw44-6>>. Acessado em 10 de julho de 2009.

ENEL. Disponível em: <<http://www.enel.com/en/>>. Acessado em 12 de janeiro de 2009.

FAPESP. **Divulgação científica** (2001). Competência da Unitech. n. 70, p. 76-77, nov.-dez. 2001. Disponível em: <[http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=1629&bd\(...\)](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=1629&bd(...))>. Acessado em 17 de maio de 2009

FAPESP REVISTA ONLINE. **Cardápio Energético**. Edição Impressa n. 157. Março de 2009. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=3814&bd=1&pg=4&lg=>>>. Acessado em 25 de maio de 2009.

\_\_\_\_\_. **Eletricidade do hidrogênio**. Edição Impressa n. 103. Setembro 2004.  
Disponível em:  
<<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/index.php?art=2577&bd=1&pg=1&lg=>>>. Acessado em 20 de janeiro de 2009.

FARRET, F. A.. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Ed. UFSM. Santa Maria, 1999.

FONTOURA, R.O. **A arquitetura na encruzilhada da Sustentabilidade: considerações à literatura e a experiências existentes**. 2007. Dissertação Mestrado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

FONTES, E.; BOSANDER, P.; NILSSON, E. Fuel cells in the Nordic countries. **Fuel cell bulletin**, n. 44, 2002.

FORTUM. Disponível em: <<http://www.fortum.com>>. Acessado em 12 de janeiro de 2009.

FUEL CELLS 2000. **Types of fuel cells**. 2008. [05 screens]. Disponível em: <http://www.fuelcells.org/fctypes.htm> >. Acessado em 25 de novembro de 2008.

\_\_\_\_\_. **Worldwide Stationary Fuel Cell Installation database**. Available from: <<http://www.fuelcells.org/db/project.php?id=385>> Acessado em 20 de novembro de 2008.

\_\_\_\_\_. **Applications for fuel cells**. 2008 Available from: <<http://www.fuelcells.org/basics/types.html>>. Acessado em 15 de setembro de 2008.

FUEL CELL TODAY. **Organisation - Analytic Power**. Disponível em: <<http://www.fuelcelltoday.com/online/industry-directory/organisations/an/Analytic-Power-LLC>>. Acessado em 15 de Janeiro de 2009.

FUEL CELLS BULLETIN. **Long Island commits to 10 MW fuel cell power plants**. Volume 2005, Issue 3, March 2005, Page 1.

\_\_\_\_\_. **FCE power plant for San Diego hotel**. Volume 2005, Issue 4, April 2005, Page 2.

\_\_\_\_\_. **FCT ships sofc system to Belgium**. Volume 2005, Issue 8, August 2005, Pages 3-4.

\_\_\_\_\_. **Solar/hydrogen Home nearing completion**. Volume 2006, Issue 10, October 2006, Page 7.

\_\_\_\_\_. **Powerco in New Zealand fuel cell trial**. Volume 2005, Issue 1, January 2005, Page 3.

FUEL CELL ENERGY. Sheraton San Diego. Disponível em:

<<http://www.fuelcellmarkets.com/images/articles/FCE%20San%20Diego%20051807.pdf>>. Acessado em janeiro de 2009.

FURLANETTO, César; POSSAMAI, Osmar (2001). O uso da energia elétrica no ambiente residencial. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21., 2001, Salvador. **Resumo dos Trabalhos Técnicos...** Salvador, 2001.

GAZ DE FRANCE LTDA. Disponível em: <<http://www.gazdefrance.com/EN/A/2009/gaz-de-france-installs-five-fuel-cells-in-urban-buildings-across-france.html>>. Acessado em 12 de fevereiro de 2009.

GARCÍA, Antonio González (2003). Hydrogen and Fuel Cell Activities in Spain. In: EUROPEAN HYDROGEN ENERGY CONFERENCE, 2003, Grenoble, September 2-5th, 2003.

GAUZIN-MÜLLER, **Dominique. Arquitectura Ecológica: 29 ejemplos europeos.** Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2003.

GIANSANTI, R. **O desafio do desenvolvimento sustentável.** 5º ed. São Paulo: Atual. 1998. p. 112.

GLOBAL ENVIRONMENT CENTER FOUNDATION (GEC). Disponível em:

<[http://gec.jp/gec/gec.nsf/en/Activities-Climate\\_Change\\_Mitigation-Fuel\\_Cell](http://gec.jp/gec/gec.nsf/en/Activities-Climate_Change_Mitigation-Fuel_Cell)>. Acessado em 15 de maio de 2009.

GOLDEMBERG, José. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo, EDUSP, 2001.

GUENA, ANA MARIA DE OLIVEIRA. **Avaliação Ambiental de Diferentes Formas de Geração de Energia Elétrica.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, 2007, 133p.

GUY, SIMON. Alternative Developments: Logics of Environmental Innovation. In: RICS CUTTINGEDGE PROPERTY RESEARCH CONFERENCE, 1997. Dublin. Disponível em: <<http://www.rics.org/>>. Acessado em 6 de dezembro de 2008.

GONZALEZ E. **Células a combustível de eletrólito polimérico sólido.** Apresentado ao Workshop Internacional de Células a Combustível no Centro de Convenção da UNICAMP; 2002 out 31, Campinas]. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh>> Acessado em 20 de agosto de 2008.

HAMMARBYSJOSTAD. Disponível em:

<<http://www.hammarbysjostad.se/inenglish/pdf/Broschure%20SOFC%20English%2020071029.pdf>> >Acessado em 17 de abril de 2009.

H2PIA. Disponível em: <<http://www.h2pia.dk/com/h2pia>>. Acessado em 12 de julho de 2009.

H2PORTUGAL. **Célula de combustível fornece energia à habitações japonesas.**

Disponível em: <<http://h2portugal.blogspot.com/2008/10/clula-de-combustvel-fornece-energia.html>>. Acessado em 21 de maio de 2009.

HEINRICH, R. W. **Integrated Fuel Cell Energy Systems for Building Applications 48 Months of Experience with SOFC and PEMFC Systems.** In: 3º Biomass Fuel Cell

NET Workshop. Biomass Fermentation and Fuel Cells as Key to a Sustainable Decentralized Power Generation in Europe. Áustria. 2005. Disponível em:

<[http://energiaeag.at/eagat/resources/257501226587649392\\_326145718357945824.pdf](http://energiaeag.at/eagat/resources/257501226587649392_326145718357945824.pdf)>. Acessado em 15 de janeiro de 2009.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M.. **Energia e Meio Ambiente.** Pioneira Thomson. São Paulo, 2003.

HYDROGEN PROGRAM (DOE). Disponível em: <<http://www.hydrogen.energy.gov/>>.

Acessado em janeiro de 2009.

HYDROGENVILLAGE. Disponível em:

<[http://www.hydrogenvillage.ca/About\\_hydrogen\\_village.htm](http://www.hydrogenvillage.ca/About_hydrogen_village.htm)>. Acessado em 16 de março de 2009.

HURÉ, Fernand. **Iniciação à electricidade e à electrónica: 200 manipulações simples de electricidade e electrónica.** Tradução de Conceição Jardim e Eduardo Lúcio Nogueira. Porto: Editorial Presença, 1976. 208 p. Título original: Initiation à l'électricité et à l'électronique.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Hydrogem Implementing Agreement** . Disponível em: <<http://www.ieahia.org/pdfs/EPACOP.pdf>>. Acessado em 13 de janeiro de 2009.

JAPAN HYDROGEN FUEL CELL DEMONSTRATION PROJECT. **Fuel cell demonstration Program.** Disponível em: <<http://www.jhfc.jp/e/jhfc/index.html>>. Acessado em 18 de maio de 2009.

JAPAN GAS ASSOCIACION. Disponível em:

<[http://www.gas.or.jp/english/letter/images/09/pdf/headlines\\_01.pdf](http://www.gas.or.jp/english/letter/images/09/pdf/headlines_01.pdf)>. Acessado em 13 de abril de 2009.

JAPAN SUSTAINABLE BUILDING CONSORTIUM. CASBEE for New Construction – Technical Manual. 2004 Edition. Tokyo: Institute For Building Environment And Energy

Conservation (IBEC), March 2005. 231 p. Disponível em:  
<<http://ibec.or.jp/CASBEE/english/download.htm>>. Acessado em 25 de novembro de 2008.

KIMMEL, Terry B. **Hidrogênio e Células a Combustível no Canadá: Realizações e Desafios Futuros**. Apresentado ao Workshop Internacional de Células a Combustível no Centro de Convenção da UNICAMP; 2008 out 31, Campinas. Disponível em:  
<<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh> > Acessado em 17 de abril de 2009.

KOOTENAI ELECTRIC COOPERATIVE, INC. Disponível em:  
<<http://www.kec.com/about.php>>. Acessado em 11 de abril de 2009.

LAMBERTZ, R. ET AL. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Editora PW, São Paulo, 1997.

LUZ PARA TODOS. Disponível em:  
<<http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Informativo%20Especial.pdf> fev, 2009>. Acessado em 21 de maio de 2009.

LINARDI M.. **Células a combustível SOFC e PEMFC de baixa potência para geração de energia elétrica distribuída**. In: Apresentada ao Workshop Internacional de Células a Combustível no Centro de Convenção da UNICAMP; 2002 out 31, Campinas . Disponível em: < <http://www.ifi.unicamp.br/ceneh>>. Acessado em 15 de janeiro de 2009.

LONG ISLAND POWER AUTHORITY. Disponível em:  
<<http://www.lipower.org/company/profile/>>. Acessado em 22 de janeiro de 2009.

LUCCHESI, Paul. **Hydrogen and fuel cell Stationary Applications in France**. CEA - Comissão Francesa de Energia Atômica. In: Implementation–Liaison Committee Meeting, 4, 22-23 Março 2005. Rio de Janeiro, Brasil.

MINISTRY OF ECONOMY TRADE AND INDUSTRY (METI). Disponível em:  
<<http://www.meti.go.jp/english/index.html>>. Acessado em 18 de maio de 2009.

MTU ONSITE ENERGY LTDA. Disponível em <http://www.mtu-online.com/>. Acessado em 12 de abril de 2009.

MUYLAERT de Araujo, M.S., ; FREITAS, M.; VASCONCELOS M., ; ROSA, L. (2006). Aceitação Social da Energia Renovável no Brasil: o caso da Geração de Energia Eólica. In: Congresso Brasileiro de Energia, 11., 2006, Rio de Janeiro.. **Resumos dos trabalhos técnicos...** Rio de Janeiro: v. 2. p. 1005-1018.

NAKAJIMA NORIYUKI, HORIUCHI YOSHIMI (2000). Application to Hotel of Fuel-Cell Power Units. **Fuji Electric Journal**, Japão, v.73; n.4; p.211-212.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **News**. Disponível em:  
<<http://www.nasa.gov/htm>>. Acessado em 15 de setembro de 2009.

NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY (NETL). **About NETL**. Disponível em:  
<<http://www.netl.doe.gov/about/index.html>>. Acessado em 10 de janeiro de 2009.

\_\_\_\_\_. **Climate Change Fuel Cell Program** (1997). Disponível em:  
<http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/97/97fc/FS-CCFCP.PDF>. Acessado em 11 de janeiro de 2009.

\_\_\_\_\_. **Solid State Energy Conversion Alliance** (SECA). Disponível em  
<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/fuelcells/seca/>. Acessado em 10 de janeiro de 2009.

NATIONAL FUELCELL RESEARCH CENTER (NFCRC). Disponível em:  
<<http://www.nfcrc.uci.edu/2/default.aspx>>. Acessado em 10 de maio de 2009.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL). Disponível em  
<http://www.nrel.gov/about/>. Acessado em 24 de janeiro de 2009.

NEDO (2006). Roteiro do Comitê de Desenvolvimento Tecnológico de células a Combustível. Disponível em: <<http://www.fcdic.com/eng/news/200606.html>>. Acessado em 18 de abril de 2009.

NEW JERSEY'S CLEAN ENERGY PROGRAM. Disponível em:  
<<http://www.njcleanenergy.com/main/about-njcep/about-njcep>>. Acessado em 15 de abril de 2009.

NEW YORK POWER AUTHORITY (NYPA). Disponível em:  
<<http://www.nypa.gov/about/whoweare.htm>>. Acessado em 22 de maio de 2009.

NEW YORK STATE ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT AUTHORITY (NYSERDA), 2002. Disponível em:  
<[http://www.nyserdera.org/Press\\_Releases/press\\_archives/2002/04\\_18\\_02.asp](http://www.nyserdera.org/Press_Releases/press_archives/2002/04_18_02.asp)>. Acessado em 15 de julho de 2009.

NORIYUKI, N. YOSHIMI, H. (2001). Application of Fuel Cell Power Units to Hotels. **Fuji Electric Review**, Japão, v. 47, n. 1, p. 7-9. fev.

NETO, Emilio Hoffmann Gomes (2007). Atividades Com Células a Combustível e Hidrogênio no Brasil. In: Brasil H2 Fuel Cell Expo/Seminar, 1., 2007, Curitiba. Disponível em:  
<<http://www.portalh2.com.br/prtlh2/images/artigos/a32.pdf>>. Acessado em 13 de setembro de 2009.

OLGYAY, V.; OLGAYAY, A. (1963): **Design with climate**. Princeton University Press, Princeton.

OUR GREEN OFFICE. Disponível em: <<http://www.ourgreenoffice.com/>>. Acessado em 23 de março de 2009.

PARO, André de Carvalho. **Estudo da contribuição do gás natural no setor elétrico – uma análise de cenários de sua expansão nos setores de geração termelétrica, cogeração e residencial**. 2005. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, São Paulo, 2005.

PAULA, Maria Inês Lage de. **Instrumento Metodológico para Determinação do Potencial de Otimização Energética nos Setores Industrial e de Serviços**. 2005. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PASDECALAIS HABITAT LTDA. Disponível em: <[www.pasdecalais-habitat.fr](http://www.pasdecalais-habitat.fr)>. Acessado em 13 de abril 2009.

PAZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. Hemus Livraria e Editora Ltda., 1991.

PCE – Portal Célula a Combustível. **Funcionamento das células a combustível**. Brasil H2 Fuel Cell Energy, 2004. Disponível em: <<http://www.celulaacombustivel.com.br/cac/oconceito/cacfunc.htm>>. Acessado em 20 de janeiro de 2009.

PETER VOGELSANGER . **Neue Systemideen aus Europa**. Instituto de Tecnologia Solar SPF, Rapperswil, Salzburgo, 2005. Disponível em: <<http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien213.pdf>>. Acessado em 20 de Janeiro de 2009.

PGE – PORTAL GÁS ENERGIA. **Sobre o gás natural**. Petrobrás S/A. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.gasenergia.com.br/oquee.jsp>> Acessado em 11 de abril 2009.

PRINCE EDWARD ISLAND GOVERNMENT. Disponível em: <<http://www.gov.pe.ca/>>. Acessado em 15 de abril de 2009.

PROMOCELL. Disponível em: <<http://www.promocell.be>>. Acessado em 15 de janeiro de 2009.

PROTON ENERGY SYSTEMS. **Energy Systems**. Disponível em: <<http://www.protonenergy.com/>>. Acessado em 20 de Setembro de 2008.

REIS, L. B.. **Geração de energia elétrica: Tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade.** Ed. Manole. São Paulo, 2003.

REIS, L.B.; SILVEIRA, S. **Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável.** 2° ed. Edusp. São Paulo, 2001.

REN21- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. **Renewables 2007 – Global Status Report**, disponível em: <[www.ren21.net](http://www.ren21.net)>. Acessado em 20 de maio de 2009.

RIFKIN, Jeremy. **A Economia do Hidrogênio.** São Paulo: M.Books, 2003.

ROMERO, M.A. **Arquitetura, Comportamento e Energia: análise do desempenho energético e do nível de satisfação do usuário em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo, utilizando-se procedimentos da avaliação pós-ocupação.** Tese de Livre Docência apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

ROSA, VICTOR HUGO DA SILVA. **Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável.** 440 f. Tese de doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília 2007.

RWELTDA.-ELETRICITY.GAS.WATER.RECYCLING.Disponível em: <<http://www.rwe.com/roof/en/index.html>>. Acessado em 14 de dezembro de 2008.

SALAMONI, Isabel; RÜTHER, Ricardo (2003). Sistema Fotovoltaico Integrado à Edificação e Interligado à Rede Elétrica: Eficiência Energética e Sustentabilidade. In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2003, Curitiba. Santa Catarina: LabEEE/UFSC. p. 931-936.

SALZBURG LTDA. Disponível em: <[www.salzburg-ag.at](http://www.salzburg-ag.at)>. Acessado em 7 de novembro de 2008.

SALZBURGWohnbau LTDA. Disponível em: <<http://www.oesw-sbg.at/>> . Acessado em 10 de novembro de 2008.

SCHITTICH, C. **Solar Architecture: Strategies, Visions, Concepts.** München: Birkhäuser, 2003.

SENTERNOVEM. Disponível em: <<http://www.senternovem.nl/english/>>. Acessado em 10 de março de 2009.

SERRA, E. T., **Células a Combustível: Uma Alternativa para Geração de Energia e sua Inserção no Mercado Brasileiro**, Cepel, 2006.

SIGFUSSON, T.; ARNASON, B. **New Perspectives for Renewable Energy in Iceland**, Science Institute, 2001, University of Iceland.

SILVA, E. P. da. **Introdução à Tecnologia e Economia do Hidrogênio**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1991. 204p.

SILVA, Vanessa Gomes; SILVA, Maristela Gomes; AGOPYAN, Vahan (2003). Avaliação do desempenho ambiental de edifícios: estágio atual e perspectivas para o desenvolvimento no Brasil. IN: **Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. 2003. Disponível em: <[http://pcc5100.pcc.usp.br/10\\_Sistemas\\_de\\_avaliacao/Artigo%20Revista%20AC\\_silva\\_silva\\_agopyan.pdf](http://pcc5100.pcc.usp.br/10_Sistemas_de_avaliacao/Artigo%20Revista%20AC_silva_silva_agopyan.pdf)>. Acessado em 23 outubro de 2008.

SILVA, Vanessa Gomes; SILVA, Maristela Gomes; AGOPYAN, Vahan (2003). Avaliação de Edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Revista Ambiente Construído**, ANTAC, Porto Alegre, v.3, n.3, p.7-18, jul./set. 2003.

SIEMENS SA. Press Realease. Disponível em: <<http://press.siemens.us/index0.php?s=43&item=476>>. Acessado em 10 de maio de 2009.

SOLARDECATHLON – DOE. Disponível em: <[http://www.solardecathlon.org/2005/where\\_now.html](http://www.solardecathlon.org/2005/where_now.html)>. Acessado em 15 de novembro de 2008.

STUART ENERGY LTDA. **Industrial, Power and Transportation**. Disponível em: <<http://www.stuartenergy.com/>>. Acessado em 15 de Maio de 2008.

SZENCORP LTDA. Disponível em: <<http://www.szencorp.net>>. Acessado em 15 de janeiro de 2009.

TELEDYNE ENERGY SYSTEMS. **Products and Solutions**. Disponível em: <<http://www.teledyneenergysystems.com>>. Acessado em 13 de setembro de 2008.

TROPICAL GREEN TECHNOLOGIES LTDA. Disponível em: <<http://www.tropical.gr/site-en/>>. Acessado em 23 de Janeiro de 2009.

UCS – UNION OF CONCERNED SCIENTISTS. **How wind energy works**.2004. Disponível em: <[http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/renewable\\_energy/page.cfm?pageID=80](http://www.ucsusa.org/clean_energy/renewable_energy/page.cfm?pageID=80)>. Acessado em 05 de novembro de 2008.

- \_\_\_\_\_. **How natural gas works**. 2003. Disponível em:  
<[http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/renewable\\_energy/page.cfm?pageID=84](http://www.ucsusa.org/clean_energy/renewable_energy/page.cfm?pageID=84)>.  
Acessado em 05 de novembro de 2008.
- US DEPARTMENT OF DEFENSE. **Fuel Cell Climate Change Rebate Programme**.  
Disponível em: <<http://dodfuelcell.cecer.army.mil/climate/index.html>>. Acessado em 10  
de janeiro de 2009.
- US GREEN BUILDING COUNCIL. Leadership in Energy & Environmental Design: Green  
Building Rating System for New Construction & Major Renovations (LEED-NC). Versão  
2.1. [Washington, D.C.]: Us Green Building Council, 2002. Disponível em:  
<<http://www.usgbc.org/>>. Acessado em 13 de dezembro de 2008.
- UNITED STATES MERCHANT MARINE ACADEMY – USMMA. Alternative Power Program.  
Disponível em: <<http://app.usmma.edu/mission.htm>>. Acessado em 13 de janeiro de  
2009.
- UNDP - United Nations Development Programme. **Environmental strategy for energy:  
hydrogen fuel cell buses for brazil**. Report. São Paulo; 1999.
- UTC Fuel Cells. **About Fuel Cells**. Disponível em:  
[http://www.utcfuelcells.com/fuelcell/how\\_fl.shtml](http://www.utcfuelcells.com/fuelcell/how_fl.shtml). Acessado em 18 de novembro de  
2008.
- VAILLANT SA. Disponível em: <<http://www.vaillant.de/>>. Acessado em 15 de dezembro de  
2008.
- VEOLIA ENVIRONNEMNT LTDA. Disponível em: <[www.veoliaenvironnement.com](http://www.veoliaenvironnement.com)>.  
Acessado em 15 de janeiro de 2009.
- WEA – WORLD ENERGY ASSESSMENT. **Energy and the challenge of sustainability**.  
United Nations Development Program, Bureau for Development Policy. New York,  
United States. Sept. 2000.
- WORLD ENERGY NETWORK (WE-NET). Disponível em: < [http://www.ena.or.jp/WE-NET/newinfo/station\\_taka\\_e.html](http://www.ena.or.jp/WE-NET/newinfo/station_taka_e.html) >. Acessado em 20 de maio de 2009.
- WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION (WWEA). Disponível em: <[www.windea.org](http://www.windea.org)>.  
Acessado em 20 de fevereiro de 2009.
- YEANG, KEN . The **Green skyscraper – The Basis for Designing Sustainable Intensive  
Building**, Prestel, New York, 1999, 394p.
- YEANG, Ken. **El Rascacielos Ecológicos**. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2001.

ZANETTINI, Siegbert. 2000. **Razão e Sensibilidade**. Resumo da tese de livre-docência apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, 15p., 2000.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)