



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Programa Brasileiro de Células a Combustível

Julho, 2002



Programa Brasileiro de Células a Combustível



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

PROGRAMA BRASILEIRO DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

Proposta para o Programa
coordenada pelo:

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS
ESTRATÉGICOS – CGEE

Data: 09 de Julho de 2002

Comitê de Elaboração do Programa

Gilberto de Martino Jannuzzi - CGEE

Helena Li Chum - DOE/NREL

Maria Helena Troise Frank - PETROBRAS/CENPES

Maurício Cantão - LACTEC

Newton Pimenta Neves Júnior - CENEH

Paulo Emílio Valadão de Miranda - COPPE

O documento preparado pela Secretaria Técnica do CT-ENERG, teve como colaboradores especialistas do NREL (National Renewable Energy Laboratory – Golden, CO – EUA) CENPES, LACTEC, CENEH (Centro Nacional de Referência em Hidrogênio) e COPPE*. Uma versão preliminar do mesmo foi apresentado em seminário com cerca de 50 representantes de órgãos e agências de governo, empresas de energia e indústrias nacionais. O documento tem como objetivo apresentar uma proposta para o Programa Brasileiro de Células a Combustível, visando organizar e conduzir as ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico sobre esse tema.

A instituição de um Programa neste caso é bastante recomendada face à grande complexidade do problema e às múltiplas áreas de conhecimento que estão envolvidas no seu equacionamento. A aplicação de células a combustível envolve os setores de produção de eletricidade, combustíveis, indústria automotiva e seus fornecedores, novas indústrias emergentes e os potenciais usuários da tecnologia. Sua aplicação será facilitada, ou não, por ações dos vários órgãos do governo federal, estadual e municipal. A ação coordenada dos vários órgãos do governo acelerará o desenvolvimento industrial e a verificação dos sistemas mais apropriados para a matriz energética brasileira. Nesse sentido, o Programa garante o uso mais racional dos recursos investidos e antecipa o alcance dos objetivos.

Células a Combustível são equipamentos capazes de converter a energia química de certos combustíveis em energia elétrica, sem a necessidade de combustão, com maior eficiência e menores emissões de poluentes que os equipamentos atuais. O melhor combustível para pilhas é o hidrogênio, que pode ser produzido por uma variedade de recursos fósseis (carvão, petróleo e gás natural), renováveis (biomassa), e a partir de eletricidade, por eletrólise da água, usando energias renováveis (como eólica, fotovoltaica, hidráulica, geotérmica) ou outras, como a energia nuclear.

As células a combustível podem ser aplicadas para a geração estacionária de energia elétrica para uso residencial, comercial e industrial, para a geração de energia nos meios de transporte em substituição ao motor de combustão interna, em caminhões, ônibus, automóveis, trens, navios e aviões, para a alimentação de equipamentos eletro-eletrônicos em substituição às baterias, nos telefones celulares, computadores, calculadoras, entre outros.

Os esforços em C&T, desenvolvimento e engenharia de produtos 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. Por isso, requerem-se projetos de duas concepções: uns demonstrativos, que facilitem a compreensão e aceitação dos produtos e

processos, e outros de desenvolvimento, a fim de garantir ao país o domínio das tecnologias, que poderão trazer novos paradigmas à questão da geração de energia. Os países que produzirem desenvolvimentos nesta área mais rapidamente assumirão posição de predominância e terão a chance de usufruir retorno econômico importante além de criar novas indústrias baseadas em tecnologia e bons empregos. As expectativas é que o mercado mundial de células a combustível será da ordem de US\$ 590 milhões já em 2003 chegando a US\$ 12 bilhões em 2011. O documento apresenta uma proposta para incentivar no país a instalação de sistemas energéticos baseados em células a combustível visando atingir 50 MW de capacidade instalada num prazo de 10 anos.

As células a combustível têm sido alvo de pesquisa e desenvolvimento desde a década de 50; tais projetos de P&D tiveram uma expansão bastante significativa durante a corrida aeroespacial entre os Estados Unidos e a extinta União Soviética. Hoje as tecnologias estão bastante diversificadas, tanto para o hidrogênio (principalmente produção e armazenamento) como para as células a combustível. O reconhecimento do hidrogênio como vetor energético do futuro reflete-se assim nos pesados investimentos mundiais, que se multiplicam a cada ano, mais especificamente da América do Norte (EUA e Canadá), Europa (representada por cerca de 20 países) e a Ásia (Japão, China e Coreia) em tecnologias ligadas ao hidrogênio e células a combustível.

Quanto ao estágio de desenvolvimento tecnológico, pode-se verificar através da literatura especializada que os diferentes tipos de célula a combustível ou tecnologias associadas (membranas, eletrodos, reforma, etc.) encontram-se em estágios bastante distintos de desenvolvimento. Alguns tipos de tecnologias foram ou estão sendo abandonadas por problemas de durabilidade ou sensibilidade a contaminantes como, por exemplo, células a combustível alcalinas (AFC, que requerem hidrogênio puro). Por outro lado, tecnologias como as das células de membranas poliméricas (PEFC), as de óxido sólido (ou cerâmicas, SOFC) e as de carbonato fundido (MCFC) estão em desenvolvimento acelerado e já começam a entrar no mercado. No entanto, estes sistemas são ainda protótipos refinados e não produtos comerciais. As células de ácido fosfórico da UTC Fuel Cells já estão disponíveis comercialmente, embora sejam de custo elevado e não estejam mais sendo alvo de maiores desenvolvimentos, que não os relativos ao reformador e à integração de componentes, na busca de redução de custo do sistema. A integração de sistemas também apresenta uma grande variedade de estágios de desenvolvimento, especialmente na área de geração descentralizada de energia elétrica. Sistemas de potência e de integração com a rede encontram-se em desenvolvimento, havendo a necessidade de se elaborar padrões e códigos para os sistemas baseados em células a combustível. Normas de segurança ainda estão sendo desenvolvidas e discutidas internacionalmente, sendo que ainda não houve consenso

sobre as mesmas ou que tipo de certificação poderá ser adotada no futuro. Esta área é muito importante pois terá impacto sobre que tipos de produtos serão aceitos no mercado internacional.

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 e Eletrocel que já há algum tempo investem em programas de P&D, com resultados disponíveis nas formas de protótipos iniciais e até mesmo protótipos aprimorados. Ainda dentro do escopo de programas de P&D, empresas como a COPEL, PETROBRAS e AES do Brasil (ELETROPAULO) aplicam recursos próprios nos projetos de células a combustível. Alguns dos projetos dessas empresas são realizados em parcerias com instituições de pesquisa (IPEN, UFRJ, UNICAMP, USP, entre outras) com apoio de recursos dos Fundos Setoriais de petróleo (CTPetro) e energia (CTEnerg).

Entretanto, deve-se reconhecer que não há no país um único agente ou grupo de agentes capaz de desenvolver e compreender todo o processo científico e tecnológico para P&D e aplicações de células a combustível. Além disso, a criação de uma nova indústria exige um tipo de P&D diferente do modo como muitas agências governamentais estão habituadas a operar. Por esses motivos, as melhores chances de sucesso ocorrerão, sem dúvida, se soubermos: i) desenvolver um esforço coordenado para recompor e compartilhar a infra-estrutura de P&D já instalada, devidamente revigorada por recursos a serem obtidos pelo programa; ii) instalar apropriada e estrategicamente a nova infra-estrutura a ser criada; iii) cuidar do desenvolvimento dos recursos humanos; iv) prover meios de realizar uma efetiva troca de informações e conhecimentos entre os diversos grupos e especialistas envolvidos; v) mobilizar de maneira coordenada os recursos de várias agências envolvidas para acelerar o desenvolvimento de companhias brasileiras e colaborações nacionais e internacionais, quando apropriadas. O documento detalha esses itens.

Uma das áreas mais promissoras para aplicações de células a combustível no Brasil é a de sistemas para produção de energia elétrica de 5 kW a 200 kW para atender especialmente os casos de cargas essenciais, isto é, consumidores que necessitam de suprimento de energia elétrica com alto grau de confiabilidade. Esses consumidores são formados por empresas de telecomunicações, bancos, centros de pesquisa, hospitais, aeroportos, etc. Outra área de potencial aplicação é o fornecimento de energia elétrica para regiões isoladas. Para essas finalidades, células de eletrólito polimérico e de ácido fosfórico são atualmente as melhores opções. As tecnologias para reforma de combustíveis fósseis e renováveis também podem levar ao desenvolvimento de novos produtos com tecnologia nacional. O país apresenta casos de sucesso na área de engenharia de sistemas, especialmente na indústria do petróleo. Sistemas energéticos de células a combustível também podem dar maior impulso ao uso de gás natural, metanol e etanol, sendo que o país já dispõe de *know-how* para a produção comercial de etanol a partir de biomassa (com preços extremamente

competitivos no mercado internacional) e também tem concentrado investimentos na expansão do consumo e da rede de gás natural.

Neste sentido, este documento tem como objetivo definir um programa em células a combustível, de âmbito nacional, visando organizar e conduzir as ações de P&D (pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, pesquisa aplicada e pesquisa estratégica) em torno desse tema, através da criação de um conjunto articulado de projetos de P&D e de engenharia com o objetivo de desenvolver a tecnologia de produtos, processos ou sistemas de interesse. O documento propõe também um sistema de gestão para o programa, envolvendo redes de pesquisas e usuários de sistemas e investidores.

1. Introdução.....	6
2. Cenário Internacional.....	7
3. Células a Combustível – Desenvolvimento Tecnológico	10
4. Cenário Nacional.....	12
4.1. Situação Atual.....	12
4.2. Potencial das Células a Combustível no Brasil	13
4.2.1. Oportunidades	13
4.2.2. Barreiras	13
5. Proposta.....	14
5.1. Aspectos Gerais	14
5.2. Cooperação.....	15
5.3. Propriedade Intelectual (PI) e Ética	15
5.4. Alinhamento	15
6. Objetivos, Metas e Estratégias	16
6.1. Objetivos:	16
6.2. Metas:.....	16
6.3. Estratégias:	17
7. Mecanismos de Implementação	18
7.1. Estrutura do Programa.....	18
7.2. Recursos e Prazos	20
8. Mecanismos de Gestão	21
8.1. Unidades Executoras.....	21
8.2. Redes de Pesquisa e Desenvolvimento	21
8.2.1. Rede de Células a Combustível e Eletroquímica	22
8.2.2. Rede de Combustíveis e Hidrogênio	22
8.2.3. Rede de Sistemas, Integração e Uso.....	22
8.3. Propriedade Intelectual.....	23
8.4. Formação de Recursos Humanos	23
9. Fontes de Financiamento e Integração com outras Redes de Pesquisa.....	23
10. Entidades	26
11. Abreviações	26
12. Glossário.....	26

1. Introdução

A melhoria do padrão de vida da sociedade brasileira requer uma melhor qualidade da energia distribuída e, também, nos serviços que podem ser oferecidos a partir do uso dessa energia. É desejável, entretanto, que esse processo ocorra de forma sustentável, isto é, sem o esgotamento dos recursos naturais e sem a deterioração das condições ambientais. O modelo atual, dependente de combustíveis fósseis, não atende a essas características, já que esses combustíveis não são renováveis e seu beneficiamento e uso gera contaminantes atmosféricos, como o dióxido de carbono, principal responsável pela ocorrência do efeito estufa, que provoca o aquecimento global. Além disso, existem fatores estratégicos e econômicos que devem ser considerados, pois suas jazidas estão concentradas em poucas regiões do mundo e seus preços estão sujeitos a grandes instabilidades. Desta forma, buscam-se novas tecnologias para geração de energia, que façam uso mais eficiente dos recursos naturais e mesmo usem recursos renováveis, sendo menos agressivas ao meio ambiente. O Brasil é um líder mundial no uso efetivo de fontes renováveis para a geração de energia e exerce destacada atuação política nos fóruns internacionais sobre esse tema.

Dentre as diferentes rotas tecnológicas para geração de energia elétrica de forma mais sustentável, destacam-se as células a combustível, também denominadas pilhas a combustível. Estas são equipamentos capazes de converter a energia química de certos combustíveis em energia elétrica, sem a necessidade de combustão, com maior eficiência e menores emissões de poluentes que os equipamentos atuais. O melhor combustível para pilhas é o hidrogênio, que pode ser produzido por uma variedade de recursos fósseis (carvão, petróleo e gás natural), renováveis (biomassa), e a partir de eletricidade, por eletrólise da água, usando energias renováveis (como eólica, fotovoltaica, hidráulica, geotérmica ou outras, como a energia nuclear).

Alguns especialistas chegam a prever que as células a combustível representarão para esse século o que o computador representou para o século XX embora a descoberta das células a combustível date de 1839 (Grove). As células a combustível podem ser aplicadas para a geração estacionária de energia elétrica para uso residencial, comercial e industrial, para a geração de energia nos meios de transporte em substituição ao motor de combustão interna, em caminhões, ônibus, automóveis, trens, navios e aviões, para a alimentação de equipamentos eletro-eletrônicos em substituição às baterias, nos telefones celulares, computadores, calculadoras, entre outros.

As células a combustível constituem uma rota tecnológica em evolução. Outras tecnologias e produtos também estão evoluindo, como sistemas de transporte híbrido (que incluem baterias e pequenos motores de combustão interna). Turbinas a gás também estão penetrando rapidamente no mercado mundial. Microturbinas estão sendo desenvolvidas para sistemas de energia distribuída. Quais tecnologias vencerão a corrida para comercialização e como será a transição do sistema energético nacional e internacional? Muitas transições são possíveis. As companhias mais importantes de energia e fabricantes multinacionais de veículos estão apostando em muitas opções, incluindo as células a combustível. Os governos de diversos países também estão apostando em várias transições mas com grande ênfase em hidrogênio e células a combustível.

Os esforços em ciência, tecnologia, desenvolvimento e engenharia de produtos 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. Por isso, requerem-se projetos de duas concepções, uns demonstrativos, que facilitem a compreensão e aceitação dos produtos e processos, e outros de desenvolvimento, a fim de garantir ao país o domínio das tecnologias, que poderão trazer novos paradigmas à questão da geração de energia. Os países que produzirem desenvolvimentos nesta área mais rapidamente assumirão posição de predominância e terão a chance de usufruir de retorno econômico importante além de criar novas indústrias baseadas em tecnologia e bons empregos.

Este documento tem como objetivo apresentar o Programa Brasileiro de Células a Combustível, visando organizar e conduzir as ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico sobre esse tema. A instituição do Programa neste caso é bastante recomendada face à grande complexidade do problema e às múltiplas áreas de conhecimento que estão envolvidas no seu equacionamento. A aplicação de células a combustível envolve os setores de produção de eletricidade, combustíveis, indústria automotiva e seus fornecedores, novas indústrias emergentes e a sociedade civil. Sua aplicação será facilitada, ou não, por ações dos vários órgãos do governo federal, estadual e municipal. A ação coordenada dos vários órgãos do governo acelerará o desenvolvimento industrial e a verificação dos sistemas mais apropriados para a matriz energética brasileira. Nesse sentido, o Programa garante o uso mais racional dos recursos investidos e antecipa o alcance dos objetivos.

2. Cenário Internacional

As células a combustível representam hoje a mais importante ferramenta 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 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 renovável.

Cresce no mundo um movimento em favor de uma “economia do hidrogênio”. Esta expressão refere-se a um sistema de energia baseado no hidrogênio, para armazenamento, distribuição e utilização de energia. O termo foi cunhado pela General Motors em 1970, e captou a imaginação da imprensa popular. Durante a crise do petróleo no início dos anos 70, o preço do óleo cru subiu acentadamente, aumentando a preocupação com a estabilidade das reservas de petróleo e a potencial falta de uma fonte de energia segura, fazendo com que, na América do Norte e em outros países da Europa, governo e indústria em conjunto desenvolvessem planos e estratégias de implementação para a introdução do hidrogênio em um sistema de energia mundial. Entretanto, a redução das tensões no Oriente Médio acabou levando a uma queda nos preços do óleo cru e ao retorno dos negócios a sua forma usual (“business as usual”). O petróleo continuou então a ser o combustível de escolha para o setor de transportes mundial.

Nas décadas de 80 e 90 o mundo se voltou para discussões acerca do crescente aquecimento global, o chamado “efeito estufa”, ocasionado principalmente por gases como o dióxido de carbono, proveniente da queima de combustíveis fósseis para geração de energia. Esta mudança do clima do planeta traz no seu bojo desafios econômicos e ambientais. Tais discussões culminaram no grande fórum mundial de Kyoto (Japão), em 1997, com a concordância generalizada por parte dos países participantes da necessidade de desenvolvimento de mecanismos concretos para a redução das emissões de dióxido de carbono.

Além das preocupações de cunho ambiental, existem outros fatores que movem o mundo em direção ao uso de hidrogênio como principal vetor energético juntamente com a eletricidade. Um dos principais é a preocupação crescente dos países quanto à dependência do petróleo importado, que renasceu após os ataques terroristas de setembro de 2001. Na visão do Departamento de Energia dos EUA (DOE), “O hidrogênio é a escolha dos EUA para energias limpas. Ele pode ser produzido através de muitos recursos abundantes disponíveis no país, de manuseio seguro e poderá

ser utilizado em todos os setores da economia e em todas as partes do país” (Jim Ohi, DOE/NREL, 14th World Hydrogen Energy Conference, Montreal, Jun/2002).. Esta visão reforça-se nas palavras do Secretário do Office of Energy Efficiency and Renewable Energy do DOE, David Garman, “Hidrogênio, Células a Combustível e Energia Distribuída estão no foco do Plano de Energia do presidente Bush, de forma a garantir a redução das importações de combustíveis, a redução da poluição do ar e a redução dos gases do efeito estufa”. Uma iniciativa importante do governo americano é o Programa “FreedomCAR” (CAR=Cooperative Automotive Research), para acelerar a implantação das células a combustível automotivas, reduzindo a dependência das importações de óleo: 53% do petróleo consumido hoje nos EUA é importado. (David Garman, 14th World Hydrogen Energy Conference, Montreal, Jun/2002).

As declarações do parágrafo anterior indicam claramente o grau de importância que o governo dos EUA estão atribuindo ao hidrogênio para uso energético e o seu valor estratégico. Deve-se salientar, porém, que o próprio Secretário enfatizou o fato das tecnologias ainda não estarem prontas. Na verdade, há muito ainda a ser feito, principalmente com relação a custos, distribuição, além da segurança, códigos e padrões.

As células a combustível têm sido alvo de pesquisa e desenvolvimento desde meados da década de 50; tais projetos de P&D tiveram uma expansão bastante significativa durante a corrida aeroespacial entre os Estados Unidos e a hoje extinta União Soviética. Hoje as tecnologias estão bastante diversificadas, tanto para o hidrogênio (principalmente produção e armazenamento) como para as células a combustível. O reconhecimento do hidrogênio como vetor energético do futuro reflete-se assim nos pesados investimentos mundiais, que se multiplicam a cada ano, mais especificamente da América do Norte (EUA e Canadá), Europa (representada por cerca de 20 países) e a Ásia (Japão, China e Coreia) em tecnologias ligadas ao hidrogênio e células a combustível.

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 comunitária, 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% na Alemanha. O Projeto CUTE europeu, de ônibus movidos a células a combustível, prevê um total de 27 ônibus (utilizando hidrogênio comprimido a 300 bar), em 9 cidades europeias (de 8 países), e será implantado a partir de 2003. No setor privado a DaimlerChrysler, por exemplo, prevê investir 1,6 bilhões de Euros para o período 2001-2004.

No Japão existem dois grandes Programas de P&D ligados a hidrogênio e células a combustível: o WE-NET (Sistema Internacional de Energia Limpa Utilizando Tecnologias de Hidrogênio) e um programa de P&D específico para células a combustível de membrana polimérica. O programa WE-NET divide-se em 3 fases. A primeira, de 1993 a 1998, teve um orçamento de US\$ 78 milhões. A segunda fase, de 1999 a 2003, tem um orçamento de US\$ 90 milhões, assim estratificados: US\$ 12,7 milhões (1999), US\$ 15,1 milhões (2000), US\$ 24,5 milhões (2001) e US\$ 29 milhões (2003). A duração e o orçamento da terceira fase serão definidos após a avaliação dos resultados da segunda fase.

A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de investimentos em sistemas energéticos baseados em células a combustível e hidrogênio realizados por instituições públicas e privadas.

Tabela 1 –Alguns investimentos públicos e privados em sistemas de células a combustível.

Investidor	Áreas beneficiadas	Total de investimentos	Período
Análise do investimento do governo americano federal (não defesa) pelo Hydrogen Technical Advisory Panel do U.S. DOE [†]	Programas de P&D e demonstração para sistemas de hidrogênio e células a combustível	US\$ 150 milhões	1999
DOE – FreedomCAR	Novo programa do <i>Office of Energy Efficiency and Renewable Energy</i>	US\$ 162 milhões	proposto 2002
DOE – SOFC e MCFC	Dentro do <i>Office of Fossil Energy</i>	US\$ 49,5 milhões	proposto 2002
Exemplo de investimento estadual Estado de Ohio – EUA	P&D, demonstração, capacitação profissional, empréstimos (juros abaixo do mercado)	US\$ 103 milhões	2002 até 2005
<i>Fuel Cells Canada</i> – associação entre governo e empresas	Programas de P&D e demonstração	US\$ 19,5 milhões	2001-2002
Governos de países europeus e União Européia (EU) – análise feita pela <i>Associação Francesa de Hidrogênio</i>	Alemanha, França, UE, Itália, Suécia, Islândia, Holanda, Noroega, Espanha, Reino Unido, Suíça, Finlândia, Áustria, Portugal, Grécia, Dinamarca	US\$ 190 milhões Alemanha US\$90 milhões, França US\$35 milhões	2000
Um exemplo de investimento industrial: <i>DaimlerChrysler</i>	Companhia cita seu investimento privado	US\$ 1500 milhões	2001-2004

Quanto ao estágio de desenvolvimento tecnológico, pode-se verificar através da literatura especializada que os diferentes tipos de célula a combustível ou tecnologias associadas (membranas, eletrodos, reforma, etc.) encontram-se em estágios bastante distintos de desenvolvimento. Alguns tipos de tecnologias foram ou estão sendo abandonadas por problemas de durabilidade ou sensibilidade a contaminantes como, por exemplo, células a combustível alcalinas (AFC, que requerem hidrogênio puro). Por outro lado, tecnologias como as das células de membranas poliméricas (PEFC), as de óxido sólido (ou cerâmicas, SOFC) e as de carbonato fundido (MCFC) estão em desenvolvimento acelerado e já começam a entrar no mercado, como as da Ballard Power Systems, da Siemens, da Fuel Cell Energy, respectivamente, e outras. No entanto, estes sistemas são ainda protótipos refinados e não produtos comerciais. As células de ácido fosfórico da UTC Fuel Cells (United Technologies Corporation) já estão disponíveis comercialmente, embora sejam de custo elevado e não estejam mais sendo alvo de maiores desenvolvimentos, que não os relativos ao reformador e à integração de componentes, na busca de redução de custo do sistema. A integração de sistemas também apresenta uma grande variedade de estágios de desenvolvimento, especialmente na área de geração descentralizada de energia elétrica. Sistemas de potência e de integração com a rede encontram-se em desenvolvimento, havendo a

[†] DOE - Departamento de Energia dos Estados Unidos
Programa Brasileiro de Células a Combustível / CGEE

necessidade de se elaborar padrões e códigos para os sistemas baseados em células a combustível. Normas de segurança ainda estão sendo desenvolvidas e discutidas internacionalmente, sendo que ainda não houve consenso sobre as mesmas ou que tipo de certificação poderá ser adotada no futuro. Esta área é muito importante pois terá impacto sobre que tipos de produtos serão aceitos no mercado internacional.

No mundo todo, muitos combustíveis estão ainda sendo avaliados. Em comum, na maioria dos países, são eles: metano, metanol e hidrogênio direto. Para a indústria automobilística nos Estados Unidos, o combustível preferido inicialmente era a gasolina reformada no próprio veículo (*on-board reforming*). Mas como os custos e parâmetros necessários não foram atingidos, essa opção terá bem menos ênfase. Por outro lado, a seleção foi ampliada e a opção de hidrogênio direto está sendo mais explorada. Na Europa, um projeto de múltiplas entidades (TES) chegou à conclusão que metano, metanol e hidrogênio (líquido ou comprimido) eram os combustíveis mais viáveis, havendo descartado a reforma de gasolina no veículo. Com relação ao metanol direto, as indicações são de que ele será utilizado para aplicações portáteis.

Segundo o estudo "*Fuel Cells: The Opportunity for Canada*" realizado pela Pricewaterhouse Coopers e divulgado no *14th World Hydrogen Energy Conference*, Montreal, Jun/2002, o mercado para células a combustível estacionárias atingirá os seguintes valores, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Mercado previsto para células combustíveis estacionárias nos EUA e em todo mundo (Pricewaterhouse Coopers, Jun/2002).

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

3. Células a Combustível – Desenvolvimento Tecnológico

Células a combustível são dispositivos que possibilitam a conversão eletroquímica de combustíveis, com destaque para o hidrogênio, em energia elétrica. O interesse por esse tipo de dispositivo tem sido notadamente crescente, tendo em vista que a sua eficiência energética é superior a das máquinas térmicas, com benefícios para a economia de combustível e para o uso mais racional da energia do ponto de vista do meio ambiente.

Os tipos de células a combustível existentes na atualidade, suas temperaturas de operação e suas aplicações são brevemente descritos na Tabela 3.

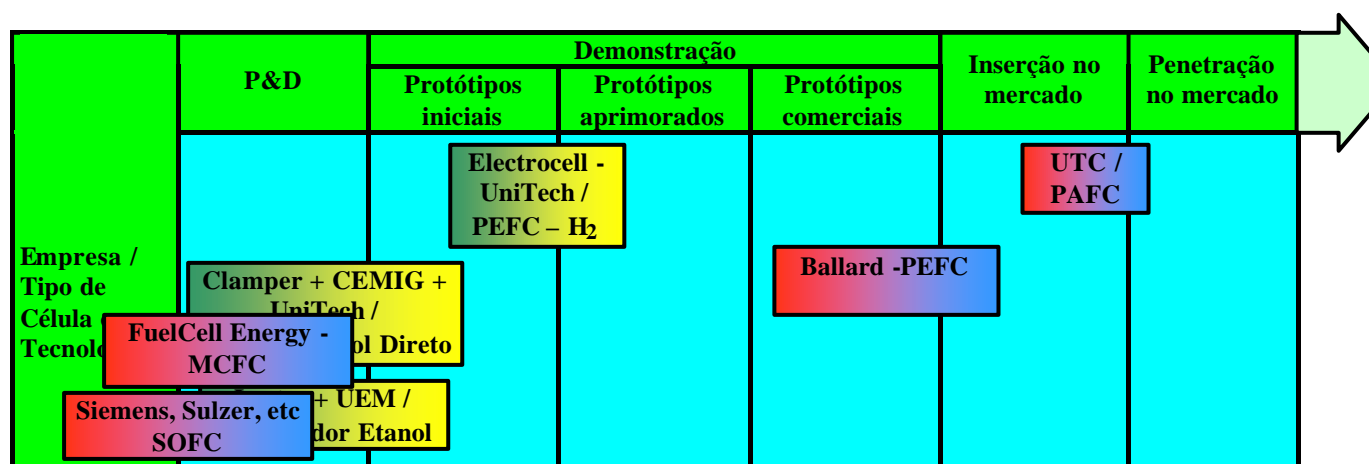
Tabela 3 – Tipos de células a combustível, temperaturas de operação e aplicações potenciais.

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

NOTA: A nomenclatura utilizada para designar os diferentes tipos de células a combustível baseou-se nas siglas em inglês (ver Abreviações), pois essas abreviações são internacionalmente utilizadas. Essa nomenclatura também pode variar de acordo com o tipo de célula, por exemplo, as células de eletrólito polimérico (PEFC) também são conhecidas como PEMFC (do inglês *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*).

Como mencionado anteriormente, os diferentes tipos células a combustível e as tecnologias associadas[‡] encontram-se em estágios diversos de desenvolvimento. A Tabela 4 apresenta os diferentes estágios de desenvolvimento para as células a combustível.

Tabela 4 – Estágios de desenvolvimento tecnológico de células a combustível no Brasil e no mundo.



NOTA: A empresa Xcellsis faz parte da Ballard agora.

[‡] São consideradas como tecnologias associadas os reformadores de combustíveis, catalisadores, membranas e materiais, tecnologias de integração de dispositivos e sistemas, eletrolisadores e sistemas de armazenamento de H₂.
Programa Brasileiro de Células a Combustível / CGEE

4. Cenário Nacional

4.1. Situação Atual

Como reflexo das ações conduzidas no exterior para desenvolvimento desse assunto, observa-se no Brasil diversas iniciativas nesse sentido, podendo-se destacar as seguintes:

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

Visando uma melhor organização dos esforços de P&D em célula a combustível no país, por iniciativa do MCT/CGEE, foi realizado um levantamento preliminar para identificar entidades atuando em temas relacionados ao assunto. Posteriormente, foram realizadas visitas prospectivas a diversas instituições dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná. Para realizar esse levantamento a Secretaria Técnica do CT-ENERG convidou a Dra. Helena Li Chum, atualmente trabalhando no NREL – National Renewable Energy Laboratory – Golden, CO – EUA, auxiliada por colaboradores brasileiros. Como resultado desse esforço, foi produzido um relatório inicial escrito e um final na forma de apresentação, já apresentado ao Comitê Gestor do CT-ENERG, o qual serviu de ponto de partida para a elaboração deste programa. É importante destacar que também foram consideradas para esse fim as contribuições advindas de longas e produtivas discussões com pesquisadores e agentes dos órgãos públicos e privados em vários encontros e também como resultado das visitas ao longo do trabalho de prospecção. Recentemente, num evento promovido pelo MCT / CGEE, com esses mesmos representantes, foram estabelecidas as bases para elaboração final deste documento.

Deve-se reconhecer que não há no país um único agente ou grupo de agentes capaz de desenvolver e compreender todo o processo científico e tecnológico para P&D e aplicações de células a combustível. Além disso, a criação de uma nova indústria exige um tipo de P&D diferente do modo como muitas agências governamentais estão habituadas a operar. Por esses motivos, as melhores chances de sucesso ocorrerão, sem dúvida, se soubermos: i) desenvolver um esforço coordenado para recompor e compartilhar a infra-estrutura de P&D já instalada, devidamente revigorada por recursos a serem obtidos pelo programa; ii) instalar apropriada e estrategicamente a nova infra-estrutura a ser criada; iii) cuidar do desenvolvimento dos recursos humanos; iv) prover meios de realizar uma efetiva troca de informações e conhecimentos entre os diversos grupos e especialistas envolvidos; v) mobilizar de maneira coordenada os recursos de várias agências envolvidas para acelerar o desenvolvimento de companhias brasileiras e colaborações nacionais e internacionais, Programa Brasileiro de Células a Combustível / CGEE

quando apropriadas. Os itens enumerados anteriormente são característicos do trabalho em rede e essa filosofia deverá ser claramente compreendida e adotada no desenvolvimento do programa.

4.2. Potencial das Células a Combustível no Brasil

4.2.1. Oportunidades

Uma das áreas mais promissoras para aplicações de células a combustível atualmente no Brasil é a de sistemas para produção de energia elétrica de 5 kW a 200 kW para atender especialmente os casos de cargas essenciais, isto é, consumidores que necessitam de suprimento de energia elétrica com alto grau de confiabilidade. Esses consumidores são formados por empresas de telecomunicações, bancos, centros de pesquisa, hospitais, aeroportos, entre outros. Para essas finalidades células de eletrólito polimérico e de ácido fosfórico são atualmente as melhores opções.

Para as células de eletrólito polimérico existem apenas dois produtores de membranas comerciais atuando no mercado mundial, embora já existam muitos fornecedores de MEAs (MEA, do inglês *Membrane Electrode Assembly*) internacionalmente (cerca de dez). Porém ainda há espaço para que se desenvolvam esforços visando: o aperfeiçoamento da arquitetura interna da célula; um melhor controle dos fluxos calor, gases e água; a montagem do conjunto de MEAs; aperfeiçoamento dos eletrodos e materiais, produção em série a baixo custo, entre outros.

O país também dispõe de recursos humanos e tecnologia provenientes das experiências nacionais na área de energia nuclear com os mesmos tipos de materiais apropriados para as células de óxido sólido, cujos regimes de operação exigem materiais resistentes à corrosão e que possam operar a altas temperaturas. O desenvolvimento tecnológico nessa área pode gerar divisas ao país através da exportação de materiais e *know-how*, por exemplo, especialmente porque o estágio de desenvolvimento desse tipo de células no mundo é menos avançado que nas células de eletrólito polimérico.

As tecnologias para reforma de combustíveis fósseis e renováveis também podem levar ao desenvolvimento de novos produtos com tecnologia nacional. O país apresenta casos de sucesso na área de engenharia de sistemas, especialmente na indústria do petróleo. Recursos humanos altamente qualificados estão disponíveis para o desenvolvimento dessas tecnologias.

Sistemas energéticos de células a combustível também podem dar maior impulso ao uso de gás natural, metanol e etanol, sendo que o país já dispõe de *know-how* para a produção comercial de etanol a partir de biomassa (com preços extremamente competitivos no mercado internacional) e também tem concentrado investimentos na expansão do consumo e da rede de gás natural.

No aspecto ambiental, sistemas energéticos baseados em células a combustível apresentam vantagens sobre sistemas de geração convencionais pois apresentam baixas taxas de emissão de poluentes e ruído.

Além disso, a eficiência independe das dimensões da planta de geração. Dessa forma as aplicações para cargas essenciais tornam-se bastante atraentes do ponto de vista ambiental e, também, de eficiência energética.

4.2.2. Barreiras

Dentre os diversos tipos de barreiras que poderão dificultar a instalação dos sistemas energéticos baseados em CaC, podem-se destacar as seguintes:

Barreiras Tecnológicas

- Produção, armazenamento e distribuição do hidrogênio.
- Células de eletrólito polimérico – detalhes de engenharia do produto como: manejo de calor/água no interior da célula, montagem e custo dos conjuntos membrana-eletródo (MEAs), produção em série; baixa temperatura de operação torna cogeração menos efetiva.
- Células de óxido sólido – engenharia de materiais de alta temperatura, selagem dos elementos cerâmicos, dificuldades relacionadas à reforma interna dos combustíveis (hidrocarbonetos).
- Novos materiais para eletrodos, catalisadores e eletrólitos sólidos.
- Desenvolvimento de recursos humanos.
- Reconhecimento de patentes levaria à reciprocidade no tratamento e promoção de parcerias trazendo conhecimento.
- Aceitação social e regulação quanto à segurança e padronização.
- Competição com outras tecnologias em estágio de desenvolvimento mais avançado que apresentam custos até o momento mais baixos.

Outras Barreiras

- Parcerias efetivas entre instituições do governo, setor industrial, setor de serviços, academia, ONG, etc.
- Indefinições na política energética nacional.
- Necessidade de política de P&D industrial. Outra dificuldade é a criação e sustentação de indústrias de alta tecnologia.
- Aspectos relacionados à proteção da Propriedade Intelectual internacional e direitos de comercialização.

5. Proposta

5.1. Aspectos Gerais

A tradição brasileira de pesquisa e desenvolvimento tem levado ao financiamento de projetos individuais, pontuais, ou de colaborações de grupos com interesses afins, mas em assuntos selecionados pelos pesquisadores a partir de chamadas em áreas muito amplas. Embora este mecanismo tenha bons resultados, a entrada numa área de extrema competitividade internacional e o desejo de criar indústrias brasileiras em altas tecnologias requer uma mudança de orientação. Dessa forma, ao invés de projetos, deve-se promover o financiamento de programas específicos com metas estabelecidas e compromisso de parceria das várias entidades governamentais, indústria, universidades e centros de pesquisa, a longo prazo.

Este documento tem como objetivo definir um programa em células a combustível, de âmbito nacional, visando organizar e conduzir as ações de P&D[§] (pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, pesquisa aplicada e pesquisa estratégica) em torno desse tema. A instituição de um programa neste caso é bastante recomendada face à grande complexidade do problema e às múltiplas áreas de conhecimento que estão envolvidas no seu equacionamento. Isso requer a criação

[§] Neste documento, por simplicidade, a sigla P&D será utilizada para designar o conjunto de ações em **pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, pesquisa aplicada e pesquisa estratégica**.
Programa Brasileiro de Células a Combustível / CGEE

de um conjunto articulado de projetos de P&D e de engenharia com o objetivo de desenvolver a tecnologia de produtos, processos ou sistemas de interesse. Para o desenvolvimento dos projetos serão mobilizados recursos humanos e materiais de entidades públicas e privadas, tais como empresas, universidades, institutos de pesquisa tecnológica, empresas de engenharia e outras, por meio de vínculos contratuais.

Para melhor conduzir o programa e atingir os objetivos propostos, as entidades participantes deverão atuar na forma de redes cooperativas de pesquisa. Por um lado, a organização e gestão das redes devem ser feitas de maneira a propiciar o diálogo e o entendimento, garantindo voz a todos os participantes; por outro lado, as informações precisarão ser de alguma forma centralizadas para possibilitar a avaliação e eventual correção de rumos e estratégias com a maior agilidade.

Originalmente, este programa foi elaborado para ser submetido ao CT-ENERG. Mas deve-se atentar para o fato de que há assuntos de inegável interesse para outros fundos setoriais e fomentadores de pesquisa e, por esse motivo, o programa descrito é de âmbito nacional e abrange outros organismos.

Como as atividades abrangem várias entidades financiadoras, o programa exigirá a articulação de todas elas. Os benefícios desta colaboração são um desenvolvimento acelerado da tecnologia e da infra-estrutura necessárias, qualificação de recursos humanos e estabelecimento de condições para absorção da tecnologia pelo mercado.

Na elaboração deste documento, além do relatório preliminar da Dra. Chum, foram utilizadas as contribuições orais e escritas de pesquisadores e administradores de instituições públicas e privadas contatados durante as visitas prospectivas.

Para maior clareza, na seção 6 Objetivos, Metas e Estratégias, estão destacados vários termos técnicos cuja definição se encontra no final deste documento, em 12. Glossário. Esses termos foram definidos no documento Diretrizes Estratégicas para o Fundo Setorial de Energia Elétrica do CT-ENERG e o seu uso resulta num entendimento mais adequado deste texto.

5.2. Cooperação

O Programa estará aberto a cooperação com instituições internacionais, respeitando os acordos entre o Brasil e estes países, e salvaguardando os objetivos do Programa e os interesses nacionais.

5.3. Propriedade Intelectual (PI) e Ética

Tendo em vista a diversidade de agentes envolvidos no Programa, deverão ser estabelecidas ações visando a proteção da propriedade intelectual e o fortalecimento da ética profissional em todos os níveis. O sucesso do programa será medido em termos de investimentos do setor privado que acompanharão os investimentos governamentais. Para justificar o investimento do setor privado é essencial que os direitos de propriedade intelectual e licenciamento das tecnologias entre as várias organizações participantes do program sejam bem definidos desde o começo. Também, como no mundo, as companhias interessadas neste desenvolvimento no Brasil são de pequeno porte. Estas requerem um cuidado especial pois são mais ágeis com P&D que companhias grandes. Clareza de propriedade intelectual e comportamento ético e essencial para que estas companhias emergentes se transformem em vetores comerciais nacionais (e internacionais também).

5.4. Alinhamento

O sucesso do Programa depende, em grande parte, da capacidade de alinhamento das ações promovidas pelas instituições de fomento preocupadas com o desenvolvimento de células a combustível no país. Este alinhamento proporcionará a todas as entidades envolvidas a habilidade de “vencer” e mais rapidamente do que se trabalhassem em isolamento.

6. Objetivos, Metas e Estratégias

O escopo central do Programa Brasileiro de Células a Combustível é desenvolver um conjunto de ações que viabilizem a criação de uma tecnologia nacional em sistemas energéticos baseados em células a combustível que, a médio prazo, habilite o país a tornar-se internacionalmente competitivo nessa área tecnológica. Para tanto, alguns objetivos devem ser estabelecidos, bem como metas e etapas a serem atingidas.

6.1. Objetivos:

- Criar condições para o desenvolvimento de uma tecnologia nacional em sistemas energéticos baseados em células a combustível visando a 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.

6.2. Metas:

Para consecução dos objetivos, o Programa precisa estabelecer metas a serem atingidas. Elas deverão ser revistas periodicamente, para adequação dos rumos do programa, tendo em vista as necessidades que deverão surgir após o início das atividades e o conhecimento acumulado à medida que o programa avança. As seguintes metas iniciais são propostas:

- Levantamento completo das instituições e infra-estrutura existentes, no setor público e privado, que possam atuar em sistemas energéticos baseados em células a combustível.
- Revitalização da infra-estrutura para P&D já existente.
- Formação de recursos humanos em todos os níveis, através da criação de programas específicos.
- Priorizar, inicialmente, o desenvolvimento de projetos de P&D em células de eletrólito polimérico e células de óxido sólido onde já existem universidades, centros de pesquisa e empresas ** de reconhecida competência atuando no país.
- Desenvolver projetos de demonstração de sistemas energéticos estacionários baseados em células a combustível.
- Desenvolver, com tecnologia nacional, células unitárias e pilhas de células de óxido sólido que possam ser replicadas pela indústria nacional.
- Desenvolver, com tecnologia nacional, sistemas energéticos estacionários de pequeno porte (até 10 kW) baseados em células de eletrólito polimérico e células de óxido sólido.

** Empresas brasileiras têm capacidade de fabricação de óxidos sólidos mas não voltados à área de células a combustível de óxido sólido.

6.3. Estratégias:

A estratégia do Programa Nacional de Células a Combustível é o conjunto de ações e atividades necessárias para atingir as metas estabelecidas e, por conseguinte, os objetivos pretendidos. As seguintes ações são sugeridas para compor a estratégia do Programa, acelerando o desenvolvimento industrial na área:

- organizar estrategicamente as atividades dos envolvidos no *programa*¹, incluindo as redes existentes e em formação, determinando as competências e potenciais de cada um, de forma a otimizar os investimentos e procurando evitar redundâncias desnecessárias ou pulverização dos recursos;
- estabelecer condições para que as instituições participantes colaborem ativamente entre si nos diversos aspectos envolvidos nas áreas de pesquisa, desenvolvimento e *aplicação*² dessa tecnologia;
- promover a divulgação e o *intercâmbio de informações*³ pertinentes e de profissionais, inclusive com o estabelecimento de programas do tipo sandwich interno (“sanduba”) ou pesquisador/técnico visitante, etc.;
- fortalecer as indústrias existentes, criar novas e envolver uma parte maior do setor industrial em parcerias;
- manter *bancos de dados*⁴ sobre o estado da arte em células a combustível e sistemas, bem como das competências dos agentes nacionais envolvidos, para estabelecer estratégias de investimento;
- manter bancos de dados sobre a tecnologia nacional, de modo a permitir a utilização da tecnologia em células a combustível no maior número possível de aplicações estacionárias, bem como em aplicações portáteis e veiculares;
- participar ativamente de organismos internacionais, tais como a International Energy Agency Hydrogen Task, a fim de conhecer as atividades conduzidas nos vários países membros;
- atuar com eficiência na transferência de tecnologia das universidades e centros de pesquisa para as empresas, com o intuito de aumentar a *competitividade da economia brasileira*⁵, inclusive através de mecanismos de *cooperação internacional*⁶;
- instituir e aperfeiçoar a infra-estrutura de pesquisa na área;
- *formar*⁷ e *capacitar*⁸ recursos humanos;
- estabelecer normas e padrões técnicos para *certificação*⁹ dos processos, tecnologias e produtos de interesse na área para as várias aplicações – estacionárias, móveis e portáteis;
- financiar projetos de demonstração relacionados a nova tecnologia de modo a aumentar a sua visibilidade, atrair novos investimentos, possibilitar treinamento de pessoal, realizar estudos de viabilidade técnica e econômica, etc.;
- incentivar a disseminação da nova tecnologia através de mecanismos de participação das indústrias de base e da criação de infra-estrutura adequada, tanto da rede elétrica quanto da distribuição de combustíveis.
- utilizar o poder de compra dos vários agentes governamentais para viabilizar a meta de 50 MW.
- apoiar projetos de demonstração de sistemas energéticos baseados em células de eletrólito polimérico, com potência de até 10 kW, adequados para atender nichos de mercado relacionados a cargas essenciais. Esses sistemas serão instalados em universidades e centros de pesquisa visando a formação de recursos humanos na operação de tais sistemas e para ensaios de tempo de vida. Após a ocorrência de falha, os sistemas deverão retornar para que

sejam investigadas as suas causas, realimentando o processo de P&D, engenharia de sistemas, etc.;

- elaborar estudos de viabilidade técnica e econômica (EVTE) para definir os produtos e processos mais adequados ao mercado nacional;
- elaborar estudos da viabilidade do ciclo de vida das estratégias abordadas desde a produção do combustível que irá gerar o hidrogênio até o uso na aplicação desejada. Tais estudos ajudarão a focalizar, para as condições brasileiras, as rotas mais adequadas para atingir um nível sustentável com relação ao meio ambiente e aos ecossistemas brasileiros.

É importante destacar que todos os objetivos deste programa estão de acordo com as diretrizes^{††} estabelecidas pelo *CNPE*¹⁰ - Conselho Nacional de Política Energética e as diretrizes temáticas dos Fundos Setoriais^{‡‡}. Assim, todos os projetos envolvidos nesse programa devem seguir e estar de acordo com estas mesmas diretrizes.

A consecução desses objetivos deverá levar a:

- obtenção de componentes (muito importante), novos produtos, processos e tecnologias em sistemas energéticos baseados em células a combustível para posterior comercialização.;
- novas opções para fornecimento e suprimento descentralizado de energia elétrica promovendo uma maior qualidade e confiabilidade do sistema elétrico nacional;
- aumento da *conservação de energia*¹¹ e *eficiência*¹² no uso e geração de energia, contribuindo para a redução das emissões de carbono;
- ampliação do uso e geração do hidrogênio de forma sustentável como vetor energético;
- diversificação da matriz energética nacional;
- criação de novas empresas através de incubadoras e outros mecanismos (como, por exemplo, o PIPE da FAPESP);
- novas oportunidades para melhor posicionar o país em nichos de “tecnologias limpas” e abrir possibilidades para exportação de *know-how*, produtos, processos e assistência técnica que sejam atrativos e competitivos no mercado internacional de energia;
- criação e consolidação de um mercado de sistemas energéticos baseados em células a combustível através da identificação de todos agentes (fornecedores, integradores de sistema, prestadores de serviço, usuários e investidores).

7. Mecanismos de Implementação

7.1. Estrutura do Programa

A Figura 1 apresenta a estrutura proposta para o Programa Brasileiro de Células a Combustível.

O **Conselho Administrativo** terá a função de avaliar os resultados obtidos durante o programa e de referendar as decisões tomadas pelo Comitê Técnico Científico. O Conselho Administrativo também será responsável pela implementação e pelo acompanhamento do **Grupo de Associados**, do **Conselho de Usuários** e pelo **Grupo Revisor** (Pares Externos).

^{††} Diretrizes I-b, d, f, g, h, i, j, k / II / III / IV do CNPE.

^{‡‡} como *CT-ENERG*¹³, *CT-PETRO*, por exemplo.

O **Comitê Técnico e Científico** fará o acompanhamento técnico das atividades a serem desenvolvidas no programa mas não exercerá nenhuma função legal nos financiamentos nem fará o gerenciamento individual dos projetos. As funções do Comitê Técnico e Científico serão as seguintes:

- auxiliar na formação das redes promovendo a prospecção e inclusão dos grupos que possam contribuir de maneira cooperativa e competente para os objetivos do programa;
- interagir com os grupos das redes para ajustar os objetivos, valores, prazos, equipamentos, infra-estrutura, etc., para possibilitar a inserção adequada do projeto nos objetivos do programa;
- coordenar as atividades dos projetos em andamento, de modo a promover a divisão de trabalhos e recursos e planejar as atividades sequenciais;
- acompanhar o andamento dos projetos das redes, interagindo para contornar dificuldades visando o cumprimento do cronograma e consecução das metas;
- atuar administrativa e gerencialmente para estabelecer efetiva e eficiente colaboração;
- reportar-se ao Conselho Administrativo provendo informações para a tomada de decisões estratégicas e técnicas visando o bom andamento do programa.

Os membros do Comitê Técnico e Científico serão escolhidos entre os especialistas que dela participam, com notório saber em suas áreas de atuação, os quais exercerão suas funções pelo prazo de três anos, podendo ser reconduzidos. O Comitê será auxiliado pelos Líderes das Unidades Executoras (Grupos de Pesquisa ou Empresas) que constituem as redes, os quais deverão auxiliá-lo a cumprir os objetivos citados.

O Comitê Técnico Científico e as Redes de Pesquisa serão auxiliados por uma equipe de **Facilitadores**, que terão as seguintes incumbências:

- promover a troca de informações entre o Comitê Técnico e Científico e o Conselho Administrativo, incluindo a organização de reuniões;
- agilizar a solução de pendências administrativas;
- promover o bom relacionamento entre os participantes do Programa;
- procurar soluções para as questões de ordem técnica ou não entre as Unidades Executoras;
- procurar e viabilizar soluções técnicas não disponíveis nas Unidades Executoras do Programa ou áreas comuns a todas as unidades como patentes, licenciamentos, acordos entre organizações participantes em pesquisa conjunta, etc.

O papel de facilitador pode ser exercido por equipe de profissionais especializados neste tipo de trabalho, mediante contratação.

A distribuição de recursos dentro do programa deverá ser feita segundo critérios estritamente técnicos e estratégicos, não devendo haver nenhuma forma de favorecimento a qualquer dos grupos ou instituição. Sempre que possível será estabelecida mais de uma rota para se chegar a um objetivo específico, de forma a aumentar as chances de sucesso em atingi-lo. Conseqüentemente, melhorarão também as chances de serem atingidos os demais objetivos que dele dependam.

Concomitantemente, identifica-se a necessidade do programa ser absolutamente transparente em todos os seus aspectos, especialmente quanto a sua gestão e tomada de decisão, dando voz a todos os participantes.

O programa deverá também analisar o mercado para aplicação e uso de células a combustível a nível nacional e internacional, considerando que um mercado inicial já existe, mas deverá haver uma política estratégica para reforçá-lo.

Outro aspecto a ser considerado diz respeito ao aumento do intercâmbio internacional com países que possam oferecer acesso a tecnologias inovadoras em células a combustível adequadas ao nosso contexto energético e econômico.

Estrutura do Programa Brasileiro de Células a Combustível

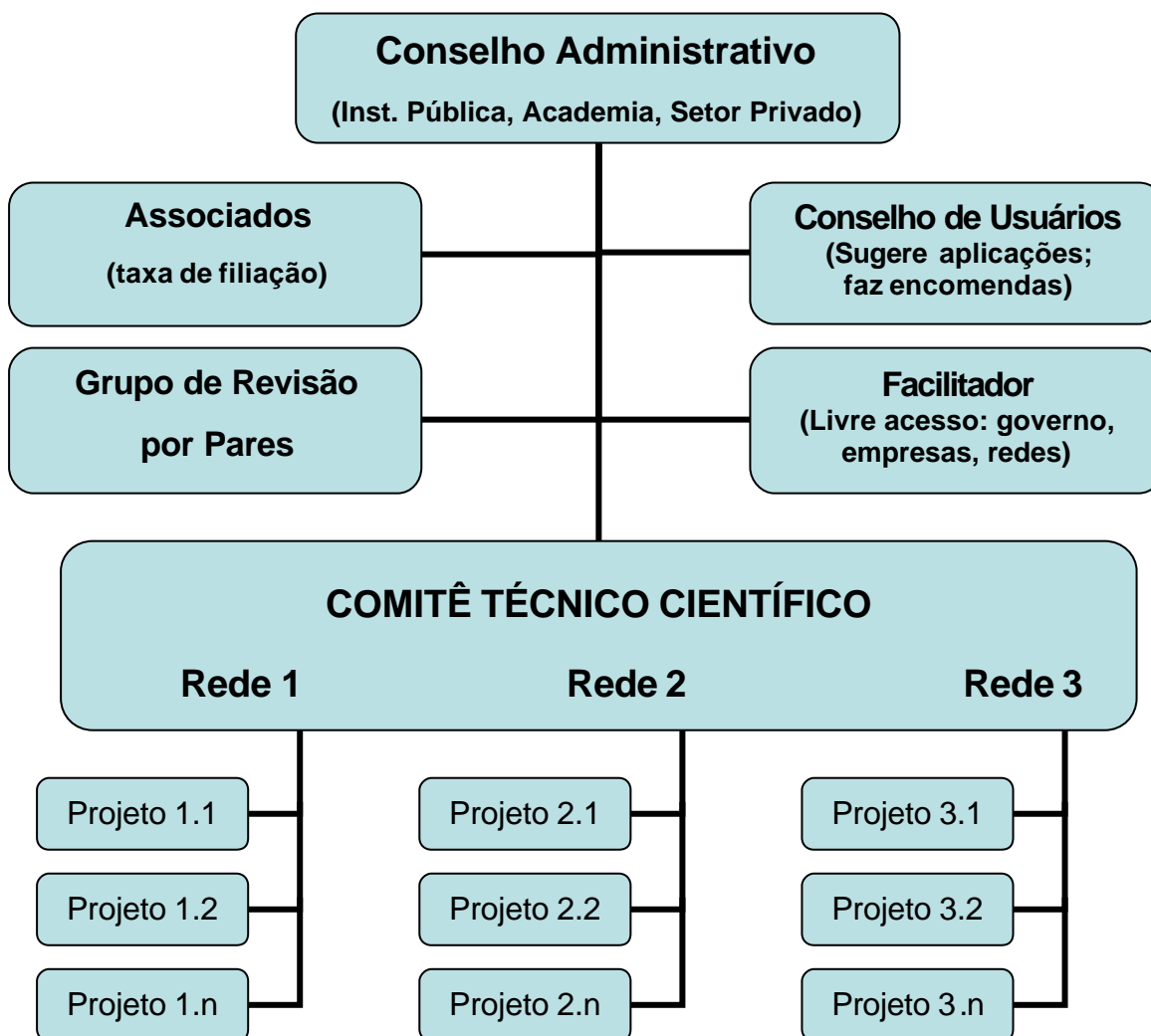


Figura 1: Estrutura do Programa Brasileiro de Células a Combustível

7.2. Recursos e Prazos

Um programa com a estrutura e objetivos propostos só poderá oferecer todos os benefícios se puder ser financiado por um longo período, dez anos ininterruptos, por exemplo. Dessa forma, o programa não deveria sofrer solução de continuidade, devendo-se evitar problemas com a manutenção das equipes executoras, o que provocaria desgastes desnecessários e enfraquecimento das redes de pesquisa – parcerias da indústria, comunidade de pesquisa acadêmica e investidores. Para manter o fluxo de investimentos do setor privado, a contribuição do setor governamental não pode sofrer

solução de continuidade, principalmente no que diz respeito a indústrias de porte pequeno visando alta tecnologia. Nestes casos, o risco é muito maior e o papel do governo é essencial.

Do total de recursos a serem disponibilizados para o Programa Brasileiro de Células a Combustível prevê-se que uma parte seja aplicada imediatamente para possibilitar a formação das redes, retomar as prospecções sobre os grupos e projetos em célula a combustível, iniciar a montagem dos bancos de dados de interesse, financiar passagens e estadias e prover a infra-estrutura administrativa mínima necessária para dar andamento ao programa.

Seria bastante oportuno utilizar este programa para melhor articular as demais iniciativas realizadas na área de sistemas energéticos baseados em células a combustível pelas principais agências de fomento, órgãos do governo e lideranças técnico-científicas e industriais.

8. Mecanismos de Gestão

8.1. Unidades Executoras

Os líderes das Unidades Executoras deverão prover as informações necessárias acerca do andamento dos projetos sob sua liderança a fim de manter atualizados o Comitê Técnico e Científico, o que deverá ser feito bimestralmente. Esse acompanhamento poderá ser feito por meio de visitas dos membros do Comitê Técnico e Científico, reuniões ou relatórios.

O Comitê Técnico e Científico e o Conselho Administrativo do Programa se reunirão, no mínimo, uma vez a cada seis meses a fim de atualizar as informações sobre o andamento dos projetos, atuação das redes e verificar o andamento do programa como um todo. Essas reuniões também serão destinadas a realizar as avaliações e eventuais correções de rumo e mudanças de estratégia necessárias para que as metas traçadas possam ser atingidas.

Após a reunião de avaliação semestral, o Conselho Administrativo deverá preparar uma exposição atualizada sobre o andamento do programa para os Comitês Gestores dos Fundos Setoriais interessados e, se necessário, aos demais órgãos financiadores. Os resultados das avaliações realizadas serão divulgadas entre os executores do programa.

Ao lado de outros instrumentos de gestão, a revisão por pares das atividades do programa deverá ser implementada, através de um grupo de revisores externos. Cuidados serão utilizados na seleção para evitar conflitos de interesse e proteção de propriedade intelectual gerada pelo programa e informação comercial das companhias envolvidas. Esse instrumento possibilita o aumento do conhecimento mútuo entre os participantes e fornece opinião independente sobre a qualidade técnica e o direcionamento do programa, servindo como fonte de realimentação para os executores e a coordenação.

8.2. Redes de Pesquisa e Desenvolvimento

Está prevista a criação de três redes de pesquisa e desenvolvimento. O Comitê Técnico Científico será responsável pela administração (técnica e científica) e gerenciamento dessas redes. Elas foram concebidas tomando-se por base levantamento realizado sobre as instituições e infraestrutura já existentes no país nos setores público e privado, que são atuantes ou potencialmente atuantes em sistemas energéticos baseados em células a combustível, e também os objetivos a serem atingidos. Alguns dos tópicos a serem cobertos por cada uma das redes foram definidos de acordo com os assuntos que já estão sendo tratados pelos diversos grupos de pesquisa e desenvolvimento e empresas atuando no país. Também foram relacionados assuntos de relevância para os objetivos do programa que, no entanto, tiveram até o momento pouco ou nenhum investimento.

8.2.1. Rede de Células a Combustível e Eletroquímica

Nessa rede estão previstos investimentos nos seguintes temas:

- Célula a combustível de óxido sólido;
- Célula a combustível de eletrólito polimérico (com uso de hidrogênio ou etanol direto);
- Outras tecnologias de células a combustível;
- Eletrodos e membranas;
- Eletroquímica Aplicada – P&D.

8.2.2. Rede de Combustíveis e Hidrogênio

Nessa rede estão previstos investimentos nos seguintes temas:

- Eletrólise da água;
- Reforma de Gás Natural para produção de hidrogênio;
- Reforma de Gás Liquefeito de Petróleo para produção de hidrogênio;
- Reforma de Etanol para produção do hidrogênio;
- Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis;
- Outros métodos para produção de hidrogênio;
- Engenharia de Sistemas de reforma;

8.2.3. Rede de Sistemas, Integração e Uso

Nessa rede estão previstos investimentos nos seguintes temas:

- Análise e engenharia de sistemas e automação;
- Balanço de planta;
- Geração de hidrogênio (eletrólise) em sistemas renováveis;
- Armazenamento, transporte e distribuição de hidrogênio;
- Segurança, Certificação, Códigos e Padrões;
- Sensores e atuadores;
- Integração dos componentes para montagem dos sistemas energéticos baseados em células a combustível (células, eletrônica de potência e de controle, reformador, etc.);
- Integração dos sistemas energéticos baseados em células a combustível com a rede de combustíveis e com a rede elétrica;
- Formação de recursos humanos especializados;
- Inserção social e incentivo ao uso das novas tecnologias;
- Incentivo ao desenvolvimento empresarial relativo às novas tecnologias.

8.3. Propriedade Intelectual

Um dos pontos a serem convenientemente tratados diz respeito à Propriedade Intelectual (PI). O problema fica em grande parte agravado pelo fato de estarem envolvidas entidades de direito público (universidades e centros de pesquisa) e de direito privado (empresas), que deverão compartilhar recursos, custos e benefícios relativos ao conhecimento gerado.

Deve-se levar conta que projetos financiados pelo governo não favorecem investimento industrial, a menos que a PI possa ser adequadamente protegida. Para tanto, deve-se prever mecanismos para facilitar o processamento de PI e criar acordos entre as instituições envolvidas em redes específicas para compartilhamento da PI desenvolvida em conjunto e reconhecimento da cooperação (isso exige a aplicação de recursos).

8.4. Formação de Recursos Humanos

O Programa deverá promover ou incentivar as atividades relacionadas à capacitação de recursos humanos qualificados e treinamento de pessoal técnico com vistas à P&D, Engenharia de Sistemas, e Operação e Manutenção de Sistemas.

9. Fontes de Financiamento e Integração com outras Redes de Pesquisa

O Programa Brasileiro de Células a Combustível deverá estar inserido no âmbito do Fundo Setorial de Energia Elétrica (CT-ENERG / MCT) e, portanto, no momento, este será o principal agente financiador do programa. Devido a outros investimentos já concluídos do Fundo Setorial do Petróleo na área de reforma de gás natural e catálise, é a sua missão, o CT-PETRO é uma fonte de financiamento importante. Outras fontes de financiamento, no entanto, já apoiam projetos relacionados ao programa e deverão ser consideradas como, por exemplo: ANEEL e companhias de energia, MME, CNPq, FINEP, fundações estaduais de amparo à pesquisa, organismos internacionais, entre outros. O inventário da situação atual dos projetos financiados, inclusive os do Norte e Nordeste, está incompleto pois estes projetos foram financiados pelo CT-PETRO após a conclusão das visitas às organizações envolvidas. O programa deve manter um inventário atualizado periodicamente.

A princípio, a seguinte distribuição de fontes de financiamento poderia ser considerada. Por exemplo, no caso dos combustíveis fósseis, atividades em células a combustível, reformadores e catálise poderiam ser financiadas pelo CT-PETRO, pois se encaixam perfeitamente em suas diretrizes; no aspecto de infra-estrutura das universidades e centros de pesquisa, os projetos poderiam ser submetidos ao CT-INFRA; o CT-ENERG financiaria, entre outras coisas, atividades em eletroquímica, integração de sistemas, células para aplicações estacionárias, processos de catálise e reforma de combustíveis renováveis. Além dos casos citados, há várias empresas e fomentadores de pesquisa suportando projetos em células a combustível. A Tabela 5 apresenta as fontes de financiamento sugeridas para os temas do Programa Brasileiro de Células a Combustível.

Para que o programa possa funcionar adequadamente e de maneira sustentável, deverão ser implementadas ações de governo e outros agentes que garantam a criação de um mercado inicial para os sistemas energéticos baseados nas células a combustível. Dessa forma, prevê-se que o programa deverá estar aberto à colaboração com outros fundos e organismos de fomento, inclusive com respeito à interação de redes de pesquisa já existentes com as novas redes a serem criadas pelo programa.

Um aspecto essencial a ser observado é que as atividades desenvolvidas devem ser estrategicamente organizadas com o objetivo de otimizar todos os investimentos realizados. Por esse motivo, deverá haver um esforço dos participantes que deverão comprometer-se a manter o Comitê Técnico e Científico (e, conseqüentemente o Conselho Administrativo) informado e atualizado acerca dos financiamentos obtidos junto a outros organismos de fomento para projetos relacionados ao programa. Simultaneamente, deverão ser levantados junto aos órgãos do Governo as iniciativas de financiamento a projetos em células a combustível. Conhecendo o volume total de recursos investidos em cada tema e projeto, será possível determinar as estratégias a serem seguidas e corrigir os rumos a fim de atingir plenamente os objetivos do programa.

Tabela 5: Fontes de financiamento sugeridas para os temas do Programa Brasileiro de Células a Combustível

Áreas do Programa	Fontes de Financiamento							
	CT-ENERG	CT-PETRO	CT-INFRA	MME	MDIC	FINEP	CNPq, FAPESP e outras agências	ANEEL, Cias. de Energia Elétrica e Empresas
Rede de Eletroquímica:								
Célula a Combustível de Óxido Sólido (Fósseis = F; Renováveis = R)	X (R)	X (F)	X				X	X
Célula a Combustível de Eletrólito Polimérico, eletrodos e membranas (Fósseis = F; Renováveis = R)	X (R)	X (F)	X				X	X
Célula a Combustível – Etanol direto	X		X				X	X
Eletroquímica Aplicada – P&D	X		X			X	X	
Eletrólise da água	X		X			X	X	X
Rede de Reforma:								
Gás Natural		X	X			X	X	
Gás Liquefeito de Petróleo		X	X			X	X	
Etanol	X		X			X	X	
Engenharia de Sistemas	X	X				X	X	
Sistemas:								
Análise de sistemas	X	X	X			X	X	X
Geração de Hidrogênio (eletrólise)	X		X			X	X	X
Armazenamento de Hidrogênio	X	X	X			X	X	
Segurança, Certificação, Códigos e Padrões	X	X				X	X	X
Integração dos componentes: células, eletrônica de potência e de controle, reformador, etc.	X	X				X	X	X
Integração dos sistemas baseados em células a combustível com a rede de combustíveis e com a rede elétrica	X	X				X	X	X
Formação de Recursos Humanos	X	X		X	X	X	X	X

10. Entidades

SIGLA	ENTIDADE
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CDTN	Centro de Desenvolvimento de Energia Nuclear
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CENPES	Centro de Pesquisa Leopoldo A. Miguez de Mello (PETROBRÁS)
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (ELETROBRÁS)
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa
COPERSUCAR	Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo Ltda.
COPPE	Inst. Alberto Luiz Coimbra de PG e Pesq. de Eng. (UFRJ)
CT-PETRO	Fundo Setorial do Petróleo
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio
NREL	National Renewable Energy Laboratory – Golden, CO – EUA
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

11. Abreviações

SIGLA	SIGNIFICADO
AFC	célula a combustível alcalina – <i>Alkaline Fuel Cell</i>
CaC	célula a combustível – <i>Fuel Cell</i>
DMFC	célula a metanol direta – <i>Direct Methanol Fuel Cell</i>
MCFC	célula a combustível de carbonato fundido – <i>Molten Carbonate Fuel Cell</i>
MEA	conjunto membrana-eletrodo – <i>Membrane Electrode Assembly</i>
PAFC	célula a combustível de ácido fosfórico – <i>Phosphoric Acid Fuel Cell</i>
PEFC	célula a combustível de eletrólito polimérico – <i>Polymer Electrolyte Fuel Cell</i>
SOFC	célula a combustível de óxido sólido – <i>Solid Oxide Fuel Cell</i>

12. Glossário

¹ Programas Mobilizadores: um conjunto articulado de projetos de pesquisa aplicada e de engenharia, com o objetivo de desenvolver a tecnologia de um produto, processo ou sistema. Para o

desenvolvimento dos projetos são mobilizados os recursos humanos e materiais da própria empresa interessada e de outras instituições, tais como universidades, institutos de pesquisa tecnológica, empresas de engenharia, e outras, por meio de vínculos contratuais.

² Pesquisa Aplicada: atividades de investigação científica executadas com o objetivo de aprofundamento ou aplicação de conhecimentos preexistentes, com vistas ao desenvolvimento ou aprimoramento de produtos, processos ou serviços.

³ Divulgação Tecnológica: atividade sistemática, cujo objetivo é dar conhecimento público para produtos, técnicas, processos e teorias de modo a despertar interesse na sua utilização ou investigação.

⁴ Prospecção Tecnológica: investigação sistemática do estado da arte de um determinado tema, em uma conjuntura pré-determinada, com vistas a identificação do estágio tecnológico atual, das ações históricas, das competências técnicas, dos recursos humanos e da infra-estrutura existente acerca do tema em questão.

⁵ Competitividade da Economia Nacional: capacidade das empresas com capital predominantemente brasileiro de conquistar e manter parcela relevante de clientes no mercado de produção de bens, insumos e prestação de serviços no Brasil e no exterior.

⁶ Cooperação Internacional: atividade de caráter inter-institucional a ser executada em parceria por diferentes instituições de ensino superior, instituições de pesquisa e desenvolvimento científico, ou empresas do setor privado, quando um destes agentes está sediado no exterior.

⁷ Formação de Recursos Humanos: atividades de qualificação de recursos humanos regulamentadas pelo Ministério da Educação - MEC, abrangendo cursos formais, tais como cursos técnicos de nível médio, graduação e pós-graduação *stricto* ou *lato sensu*.

⁸ Capacitação de Recursos Humanos: atividades de qualificação de recursos humanos não regulamentadas pelo Ministério da Educação - MEC, tais como treinamentos, estágios e intercâmbio técnico/científico, palestras, entre outras.

⁹ Certificação Técnica: emissão de certificado ou selo atestando que determinado equipamento, sistema ou processo está em conformidade com a norma técnica competente.

¹⁰ Conselho Nacional de Política Energética (CNPE): órgão criado pela Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, com a finalidade de assessorar o Presidente da República para a formulação de políticas e diretrizes de energia, de forma a promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país. Integram o CNPE: o Ministro de Estado de Minas e Energia, o Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, o Ministro de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão, o Ministro de Estado da Fazenda, o Ministro de Estado do Meio Ambiente, o Ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o Ministro Chefe da Casa Civil da Presidência da República, um representante dos Estados e do Distrito Federal, um cidadão brasileiro especialista em matéria de energia e um representante de universidade brasileira, especialista em matéria de energia.

¹¹ Conservação de Energia: ações sistemáticas que resultem na redução do consumo de energia sem que exista, necessariamente, uma relação direta com a produtividade do processo.

¹² Eficiência Energética: ações de utilização sistemática e racional da energia, cujo objetivo é otimizar seu uso de modo a obter-se a maior razão possível entre produtividade e consumo energético.