

## PROGRAMA IPEN/CNEN-SP PARA UTILIZAÇÃO DE HIDROGÊNIO COMO VETOR ENERGÉTICO E DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

\*JOSÉ AUGUSTO PERROTTA, MARCELO LINARDI, FÁBIO CORAL FONSECA,  
FÁTIMA MARIA SEQUEIRA DE CARVALHO

\*INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES – *ipen-cnem/sp*

### RESUMO

O hidrogênio é considerado por muitos como um vetor energético chave no século 21. Sua utilização através de células a combustível leva a uma produção limpa e eficiente de eletricidade. As diferentes formas de obtenção de hidrogênio e a variedade de aplicações de células a combustível têm atraído a atenção e o investimento dos países mais desenvolvidos. União Européia, Estados Unidos, Canadá e Japão possuem programas de peso que estabelecem metas firmes de utilização do hidrogênio e da tecnologia de células a combustível para transporte e energia distribuída. O *ipen-cnem/sp*, ciente da importância desta tecnologia para o futuro energético do Brasil, estabeleceu um programa de desenvolvimento de células a combustível para aplicação estacionária e energia distribuída. Este trabalho apresenta os objetivos, metas e organização deste programa de P&D&I do *ipen-cnem/sp*.

### ABSTRACT

Hydrogen is seen by many as key energetic vector for the 21<sup>st</sup> century. Its utilization in fuel cells enables a clean and efficient production of electricity. The different ways of obtaining hydrogen and the distinct types of fuel cells application has called the attention and investment of developed countries. European Union, United States, Canada and Japan have important programs that establish tied goals for the utilization of fuel cells technology in transport and distributed energy. *ipen-cnem/sp* knowing the importance of this technology for the energetic future of Brazil, established a program of development on fuel cells technology for stationary and distributed energy application. This paper presents the objectives, goals and organization of this R&D&I of *ipen-cnem/sp*.

### 1. INTRODUÇÃO

O *ipen-cnem/sp* possui um histórico de realizações importantes na área nuclear do país. A experiência de gestão de P&D, inovação tecnológica e coordenação de atividades multidisciplinares se caracterizam com realizações tais como o domínio do ciclo do combustível nuclear, engenharia, construção e operação de reatores de pesquisa, a produção de radiofármacos, etc. Na área de ensino, a associação do *ipen-cnem/sp* com a Universidade de São Paulo permitiu o estabelecimento de um programa de pós-graduação na área nuclear com alto conceito nacional (Conceito 6 CAPES).

Seguindo uma tendência mundial, iniciou-se no *ipen-cnem/sp*, em 1998, uma nova frente de estudos na área de fontes energéticas eficientes e de baixo impacto ambiental, escolhendo-se o estudo e desenvolvimento de sistemas associados à tecnologia de Células a Combustível. Os estudos iniciais foram

realizados na área de materiais valendo-se da experiência anterior do desenvolvimento de materiais nucleares. Após estes primeiros anos de pesquisa, hoje já existem mais de 50 profissionais envolvidos, em nível integral ou parcial, entre pesquisadores, tecnólogos, bolsistas de doutorado, mestrado e iniciação científica; três laboratórios estão em operação atuando em P&D (PEM, SOFC e REFORMA); três cursos de pós-graduação estão sendo ministrados; quatro patentes já foram submetidas para depósito; 1 mestrado e 2 doutorados já foram defendidos e existem mais 12 orientações em andamento, mais de duas dezenas de publicações e participações em eventos nacionais e internacionais já apresentaram os estudos realizados; um projeto do fundo setorial (CTPETRO) está sendo realizado; 6 projetos tiveram suporte de órgãos de fomento (CNPq e FAPESP); e algumas parcerias nacionais estão em andamento, incluindo nestas parcerias a empresa ELECTROCEL incubada no CIETEC (Centro Incubador de Empresas Tecnológicas) sediado no campus do *ipen-cnem/sp*. Em 2001 no levantamento nacional na área de células a combustível realizada pelo MCT, o *ipen-cnem/sp* foi considerado como de boa experiência na gestão de projetos e com capacitação comprovada na área de P&D em células tipo PEM.

Em vista do sucesso obtido pelas pesquisas iniciais e pela proposição do *Programa Brasileiro de Células a Combustível* pelo CGEE (2002) do MCT, o *ipen-cnem/sp*, a partir de julho de 2003, se motivou a criar, internamente, um programa integrado de desenvolvimento sobre células a combustível – “*Programa Célula a Combustível*”. Esse programa visa a gestão da P&D e inovação tecnológica sobre células a combustível de forma a contribuir para o desenvolvimento nacional da área. As metas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do programa *ipen-cnem/sp* estão norteadas pelas metas estabelecidas no *Programa Brasileiro de Células a Combustível* do MCT.

## 2- OBJETIVOS DO PROGRAMA

É visão do *Programa Célula a Combustível* tornar-se modelo nacional em pesquisa e desenvolvimento tecnológico na área de células a combustível. Prevê uma atuação institucional, com participação das várias áreas de competência do *ipen-cnem/sp*, salvaguardando a propriedade intelectual em todo desenvolvimento tecnológico e de inovação. O foco do programa é aplicação estacionária e geração de energia elétrica distribuída. São observados os seguintes itens principais:

- Desenvolvimento de pesquisa e tecnologia na área de células a combustível dos tipos membrana polimérica (PEMFC) e óxido sólido (SOFC).
- Desenvolvimento de pesquisa e tecnologia na área de produção e purificação de hidrogênio, para operação de células a combustível.
- Desenvolvimento de pesquisa na área de sistemas de células a combustível.
- Desenvolvimento de infra-estrutura laboratorial buscando a sustentação, o estado da arte e a excelência nas áreas de atuação em células a combustível para aplicação estacionária.
- Desenvolvimento de protótipos de células a combustível utilizando tecnologia própria, buscando otimização de componentes, processos, sistemas e desempenho operacional.

- Desenvolvimento de sistemas integrados para geração de energia elétrica distribuída, permitindo ao *ipen-cnem/sp* ter uma geração de energia elétrica independente (de demonstração) com base em tecnologia de células a combustível.
- Transferência tecnológica para o segmento produtivo e garantia de fluxo de recursos para projetos de P&D&I.
- Prestação de serviços de engenharia e laboratoriais atendendo demanda do segmento produtivo na qualificação e certificação da tecnologia de células a combustível.
- Oferecimento de cursos e orientação de alunos de pós-graduação do *ipen-cnem/sp /USP*, além de cursos de treinamento em geral.
- Estudos de mercado e de impacto social, ambiental, financeiro e tecnológico na matriz energética nacional.

### 3- ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA

O Programa de Células a Combustível responde ao Conselho Técnico Administrativo (CTA) do *ipen-cnem/sp*, constituído pela Superintendência e Diretorias. A organização do Programa é de base matricial. A coordenação do Programa é voltada ao gerenciamento das atividades relacionadas à gestão da informação, às parcerias, convênios, projetos, serviços, etc. Uma estrutura composta por Áreas de Desenvolvimento Tecnológico é a responsável pela execução das atividades de pesquisa, técnicas e de ensino do programa, conservando a excelência, e procurando continuamente o estado da arte. Estas Áreas são: Células Combustíveis de Membranas Poliméricas; Células Combustíveis de Óxido Sólido; Sistemas de Células a Combustível; Reforma de combustíveis para obtenção de hidrogênio. Uma estrutura dinâmica e flexível mantém lideranças temporárias voltadas ao gerenciamento técnico de trabalhos específicos e projetos que requeiram integração entre as Áreas de Desenvolvimento Tecnológico. A figura 1 ilustra a organização do Programa.

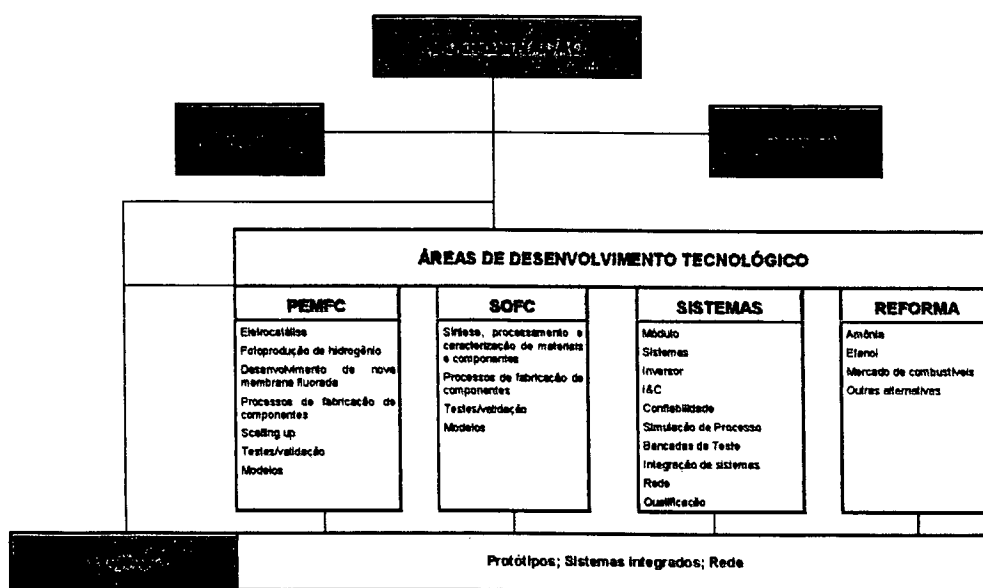


Figura 1 –Organização do Programa Célula a Combustível do *ipen-cnem/sp*

Para a realização das atividades relativas ao Programa, os Centros (Departamentos) do *ipen-cnem/sp* disponibilizam recursos humanos, infraestrutura laboratorial, programas computacionais, equipamentos especializados, instalações prediais apropriadas, etc. As atividades de ensino seguem o programa institucional. A princípio os seguintes Centros, dentro de suas áreas de competência, trabalham de forma coordenada para o Programa Célula a Combustível: CCTM – Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais; CEN – Centro de Engenharia Nuclear e CQMA – Centro de Química e Meio Ambiente.

Um Grupo Executivo é responsável pelas decisões técnicas, gerenciais e de análise crítica de projetos, processos e sistemas a serem implantados no Programa. Fazem parte do Grupo Executivo o Coordenador do Programa e os Líderes das Áreas de Desenvolvimento Tecnológico e Líderes de Projetos.

Da forma que está organizado o Programa, cada Área de Desenvolvimento Tecnológico atua como uma "Rede" de pesquisa interna ao *ipen-cnem/sp* já que os pesquisadores, laboratórios e infra-estrutura são dos diversos Centros (departamentos). Esta forma de organização pode ser expandida em nível nacional, em que "Redes" de pesquisa seriam formadas utilizando-se pesquisadores, laboratórios, infra-estrutura de várias instituições de pesquisa, universidades, etc. O Grupo Executivo seria formado pelo Coordenador Nacional e os Líderes das Redes. Este é o modelo proposto pelo CGEE do MCT para o Programa Brasileiro de Células a Combustível.

#### 4- GESTÃO DO PROGRAMA

Uma série de documentos foi elaborada de forma a organizar a gestão do Programa. A figura 2 esquematiza a hierarquia desses documentos.



Figura 2—Documentos que compõem a gestão do Programa Célula a Combustível

O Plano de Negócios estabelece a organização do Programa na sua concepção ampla. É um documento de cunho estratégico, que procura situar o Programa no longo prazo (4 anos), e sofre revisões anuais após análise crítica do desempenho do Programa. Os seguintes itens compõem o Plano de Negócios: Missão, Visão e Objetivos Permanentes, Concepção do Programa, Objetivos, Mercado Atual e Futuro, Ambiente de Concorrência, Serviços Prestados Atuais e Potenciais, Metas, Estratégias de Atuação, Organização do Programa.

O Plano de Ação é um documento de nível tático, onde são detalhadas as ações a serem desenvolvidas anualmente para efetivação do Programa. Os

seguintes itens compõem o Plano de Ação: Objetivos, Metas, Estratégias de Atuação, Programas de Ação, e Meios a Serem Utilizados.

Para cada objetivo do Programa são estabelecidas metas e, para cada meta, são determinados conjuntos de atividades (propostas de trabalho) para alcançar a meta estabelecida. A tabela 1 apresenta um resumo dos objetivos e metas atuais do Programa Célula a Combustível do *ipen-cnem/sp*.

OBJETIVOS	METAS
1 – Desenvolver conhecimento e tecnologia de fabricação de células a combustível tipo PEMFC e seus componentes	1.1 – Conjunto Eletrodo/Membrana (MEA), Dimensão dos eletrodos de difusão gasosa de até 12cm x 12cm (144 cm <sup>2</sup> ), > 0,5 A/cm <sup>2</sup> de corrente específica e 0,4 mg/cm <sup>2</sup> Pt/anodo e 0,6 mg/cm <sup>2</sup> Pt/catodo. 1.2 – Desenvolver um protótipo de laboratório de 1 kW de célula a combustível, tipo PEMFC, módulo mínimo de 25 MEA's, temperatura de operação entre 60 e 90 °C 1.3 – Produção e purificação de hidrogênio via fotocatalise. Construção de duas células experimentais: uma de produção e uma de purificação. 1.4 – Estudos de novos sistemas de eletrocatalisadores e seus métodos de produção para oxidação de diversos combustíveis. 1.5 – Desenvolver uma membrana de PTFE alternativa com cristalinidade menor que 20%, portanto alto rendimento para enxerto de espécies sulfonadas.
2 – Desenvolver conhecimento e tecnologia de fabricação de células a combustível tipo SOFC e seus componentes	2.1 – Desenvolver materiais para uso em células a combustível, tipo SOFC, para aplicação como eletrólito, materiais de eletrodos, interconectores e selantes 2.2 – Desenvolver técnicas de fabricação de conjuntos eletrólitos/eletrodos cerâmicos (MEAs) 2.3 – Produzir conjuntos Eletrolito / Eletrodos cerâmicos (MEA) unitários 2.4 – Desenvolver montagens para testes de MEA's cerâmicos unitários com temperatura de operação até 1000 °C
3 – Desenvolver conhecimento e tecnologia de processos de obtenção e purificação de hidrogênio para utilização em células a combustível	3.1 – Desenvolver um sistema de reforma para geração de hidrogênio a partir da amônia 3.2 – Desenvolver um sistema de reforma para geração de hidrogênio a partir do etanol 3.3 – Estudar processos de reforma a partir de diferentes fontes (gás natural, biomassa)
4 – Desenvolver conhecimento e tecnologia de sistemas e I&C de células a combustível	4.1 – Estudar integração de sistemas de células a combustível, incluindo reformador e purificador de hidrogênio, módulo da célula a combustível, sistemas auxiliares, I&C e sistema de fornecimento de energia elétrica para rede elétrica convencional 4.2 – Desenvolvimento de equipamentos, instrumentos e programas computacionais para integração dos sistemas da célula combustível 4.3 – Projeto de bancada de integração de sistemas para protótipos de células a combustível
5 – Desenvolver estudos de análises de mercado e impacto social, ambiental e tecnológico na matriz energética nacional	5.1 – Estudos de impactos social, tecnológico e financeiro na matriz energética nacional
6 – Buscar parcerias para o desenvolvimento de programas de pesquisa	6.1 – Projetos de parcerias nacionais 6.2 - Projetos de parcerias internacionais
7 – Desenvolver protótipos integrados, em escala piloto, de célula a combustível.	7.1 – Desenvolver um protótipo de 1 KVA nominal de célula combustível, tipo PEMFC; 60 Hz; 115 V; monofásico, módulo mínimo de 40 MEA's (compatível com a potência AC), temperatura de operação entre 60 e 90 °C, reformador acoplado, controle automático de potência, e supervisão de parâmetros de processo.
8 – Implantar um sistema piloto de rede de geração distribuída.	8.1 – Implantar um sistema de rede de geração distribuída com vários protótipos de 1 kW de célula a combustível, tipo PEMFC, atendendo a demanda elétrica de uma área específica do <i>ipen</i>
9 - Buscar oportunidades, relacionadas à área de atuação, para prestação de serviços especializados de desenvolvimento, qualificação, certificação e treinamento	9.1 – Serviços especializados de laboratório 9.2 – Serviços de qualificação e certificação 9.3 – Cursos de Extensão Universitária 9.4 – Treinamentos Específicos
10 – Atuar no ensino da área de células a combustível em nível de pós-graduação no <i>ipen /USP</i>	10.1 – Ministrar cursos na Pós-graduação do <i>ipen /USP</i> e orientar alunos 10.2 – Participar da Comissão de Pós-Graduação do <i>ipen /USP</i> 10.3 – Estudar a criação de uma nova área específica sobre célula a combustível na Pós-graduação do <i>ipen /USP</i> 10.4 – Ministrar cursos de graduação para alunos da USP, através da Pós-graduação do <i>ipen /USP</i>
11 - Profissionalizar o sistema de gerenciamento, integrando o PROCEL ao Sistema de Gestão do <i>ipen</i>	11.1 – Implantar o sistema de gestão da informação 11.2 – Implantar o sistema de gestão administrativa 11.3 – Implantar o sistema de gestão da qualidade
12 – Criar, manter, modernizar e ampliar a infra-estrutura laboratorial	12.1 – Investir em equipamentos de Laboratório 12.2 – Criar área física para a centralização da gestão do PROCEL 12.3 – Criar (ou reformar) uma nova área de laboratório para atendimento das metas do PROCEL
13 – Buscar complementação financeira para as atividades do PROCEL através de depósito de patentes e transferência tecnológica para setores produtivos	13.1 – Realizar depósitos de patentes 13.2 – Associação com empresas para transferência tecnológica

Tabela1–Objetivos e Metas do Programa Célula a Combustível do *ipen-cnem/sp*

A forma de atuação do Programa, com alocação de "propostas de trabalho" e a existência de um sistema de informação, constitui de certa forma um "programa de ação" contínuo. Cada proposta de trabalho representa a ação a ser realizada para efetivar metas estabelecidas no Plano de Negócios e Plano de Ação. Nessas propostas de trabalho estão descritos os objetivos, produtos a serem obtidos, recursos humanos alocados, recursos financeiros previstos, e cronograma. Um banco de dados com as propostas de trabalho é mantido, de forma que a qualquer instante é possível saber quais as atividades estão em execução no Programa.

Todas as atividades deverão produzir produtos que podem ser relatórios, especificações, artigos técnicos, patentes, etc. Poderão ser também produzidos itens físicos tais como protótipos, materiais, componentes, bancadas, etc. No entanto, cada produto físico deverá também produzir algum documento associado, e que uma forma geral são classificados como parte técnica dos "registros da qualidade". Um banco de dados cataloga todos os documentos produzidos de forma que a informação sobre a produção técnica do Programa esteja disponível a qualquer momento e de forma atualizada.

Ao final de cada proposta de trabalho, é gerado um documento classificado como "indicador". Esse documento conterà um resumo dos produtos (tipos e quantidades), um resumo dos recursos humanos utilizados, um resumo dos recursos financeiros despendidos ou dos recursos financeiros auferidos. O indicador se constitui num relatório padronizado e seu conteúdo serve para avaliar o desempenho do Programa. É mantido um banco de dados com os indicadores gerados de forma que a qualquer momento se tenha uma avaliação do andamento do Programa. A figura 3 esquematiza a Gestão da informação.

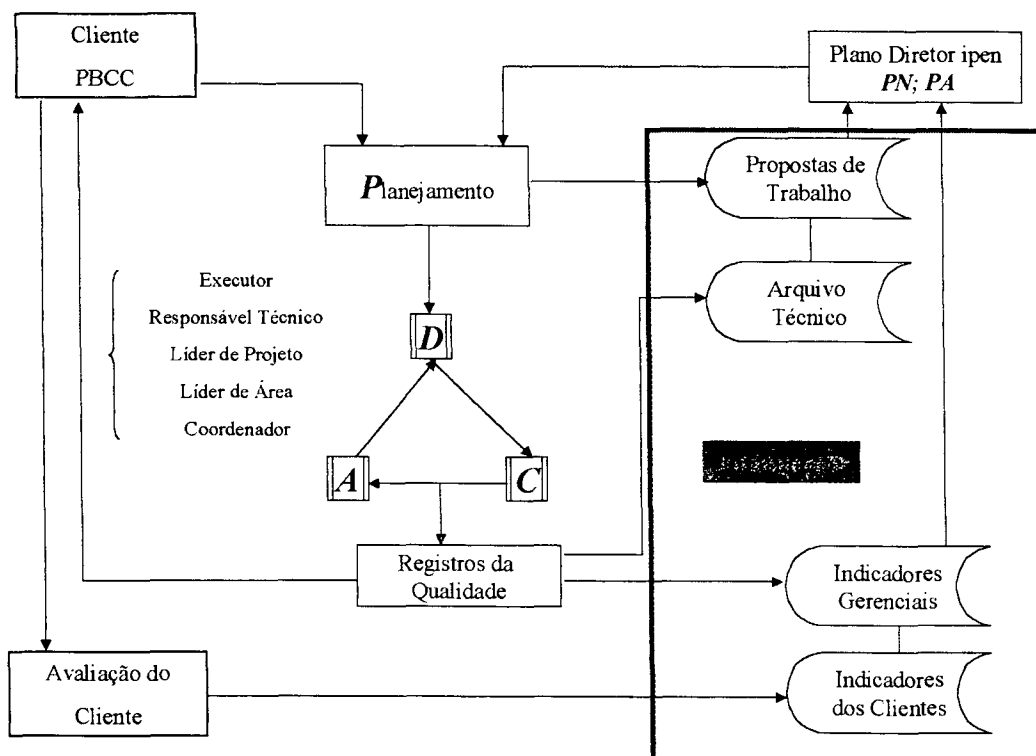


Figura 3- Esquema de Gestão da Informação do Programa Célula a Combustível

A tabela 2 apresenta um esquema da hierarquia de documentação que compõe o sistema de gestão da qualidade do Programa Célula a Combustível. Este sistema está subordinado ao sistema de gestão da qualidade do *ipen-cnem/sp*, sendo sua estrutura baseada nos princípios da norma NBR-ISO-9001-2000.

Nível Hierárquico	Documento
Estratégico	Plano Diretor – <i>ipen</i> Plano de Negócios do PROGRAMA Política da Qualidade do PROGRAMA Manual da Qualidade do PROGRAMA
Tático	Plano de Ação do PROGRAMA Procedimentos Gerenciais – <i>ipen</i> Procedimentos Gerenciais do PROGRAMA Planos da Qualidade do PROGRAMA
Operacional	Procedimentos Operacionais do PROGRAMA Instruções de Trabalho do PROGRAMA Documentos Externos
Registros	

NBR-ISO-9001:2000

Tabela 2 – Hierarquia de Documentos do Sistema de Gestão da Qualidade

## 5- RECURSOS FINANCEIROS

A exemplo do que ocorre nos países desenvolvidos, um programa para implantação de tecnologia de Células a Combustível e utilização de hidrogênio depende do estabelecimento de uma política governamental e suporte de financiamento desta política a nível orçamentário do país. Associadas a esse esforço de governo, as grandes empresas de energia (geração de eletricidade, petrolíferas, distribuidoras de energia elétrica, distribuidoras de gás, empresas automotivas, etc.) deveriam apoiar através de investimentos próprios o desenvolvimento de pesquisas e inovação tecnológica. O mercado irá determinar o surgimento de novas empresas e produtos ao longo desse desenvolvimento.

O MCT ao criar o Programa Brasileiro de Células a Combustível através do CGEE procurou estabelecer uma política nacional e organizar as redes nacionais para utilização de recursos provenientes dos fundos setoriais (CT-Energ; Ct-Petro; CT-Infra; CT\_Verde Amarelo). No entanto, ainda não foi efetivado.

O Programa Célula a Combustível do *ipen-cnem/sp* segue esta linha de estratégia para obtenção de recursos. Este procura estar associado às redes nacionais para utilizar os fundos setoriais, buscar parcerias com as grandes empresas que possam investir capital próprio em pesquisa, e também obter recursos em órgãos de fomento para P&D.

No entanto, o desenvolvimento da tecnologia nacional na área de utilização de hidrogênio e tecnologia de células a combustível só se concretizará quando for estabelecida de fato uma política nacional e colocada no PPA do governo federal com recursos compatíveis com a implantação desta tecnologia.

Deve-se ter uma visão de tempo de implantação da tecnologia de pelo menos uma década.

Um excelente exemplo vem da União Européia EC (2003), onde existe um planejamento previsto de 40 anos e metas estabelecidas como a que estipula que 5% da frota de automóveis deverão utilizar hidrogênio como combustível até 2020 – Agencia FAPESP (2004).

## **6- COMENTÁRIOS FINAIS**

O Brasil é bastante rico em energias renováveis (hidroelétrica, solar, eólica, biomassa) e a produção de hidrogênio por essas fontes, em conjunto com o desenvolvimento da tecnologia de células a combustível, torna o quadro de geração de energia elétrica muito promissor para o Brasil neste século.

O *ipen-cnem/sp* ao estabelecer um Programa de utilização de hidrogênio como vetor energético e desenvolvimento da tecnologia de células a combustível confirma sua missão de pesquisar e desenvolver tecnologias para o bem estar da sociedade brasileira. A forma como o Programa está estruturado pretende ser um modelo de atuação e contribuir para o desenvolvimento nacional do setor de energia elétrica para aplicação estacionária e sistemas de geração distribuída. Reafirmamos nossa convicção que deve ser estabelecida uma política nacional e que esta seja implementada através da alocação de recursos orçamentários compatíveis à sua importância ao cenário energético nacional do futuro.

## **7- BIBLIOGRAFIA**

CGEE- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Programa Brasileiro de Células a Combustível; Proposta para o Programa coordenada pelo CGEE; Julho 2002.

EC – European Commission – High Level Group for Hydrogen and Fuel Cells – Hydrogen Energy and Fuel Cells – A Vision of our Future – Summary Report; June 2003.

Agência FAPESP – Economia do Hidrogênio; Boletim Eletrônico; 21/01/2004.



FC  
M. Perrotta

IPEN/CNEN-SP  
BIBLIOTECA  
"TEREZINE ARANTES FERRAZ"

Formulário de envio de trabalhos produzidos pelos pesquisadores do IPEN para inclusão na  
Produção Técnico Científica

AUTOR(ES) DO TRABALHO:

PERROTTA, J.A.; LINARDI, M.; FONSECA, F.C.; CARVALHO, M.F.S.

LOTAÇÃO: PROCEL

RAMAL: 9440

TIPO DE REGISTRO:

art. / periód.:  
cap. de livro

Publ. IPEN  
Art. conf

resumo  
outros  
(folheto, relatório, etc...)

TITULO DO TRABALHO:

Programa IPEN/CNEN-SP para Utilização de Hidrogênio como Vetor Energético e  
Desenvolvimento da Tecnologia de Células a Combustível

APRESENTADO EM: (informar os dados completos - no caso de artigos de conf., informar o título  
da conferência, local, data, organizador, etc.)

IV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, realizado em Itajubá, MG, no  
período de 24 a 26 de março de 2004

PALAVRAS CHAVES PARA IDENTIFICAR O TRABALHO:

Fuel Cell; Energia distribuída; Geração distribuída

ASSINATURA:



DATA: 31/03/2004

10 ABR 2004