



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPT 07
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – GPT

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA COM CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

José Geraldo de Melo Furtado *
Renata Nunes Oliveira

Evandro Sergio Camelo Cavalcanti
Eduardo Torres Serra

Diana Albani Siqueira
Francisco da Costa Lopes

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL

RESUMO

Sistemas à base de células a combustível têm sido considerados para aplicações residenciais e comerciais no âmbito da geração distribuída de energia elétrica à medida que se consegue minimizar seus custos globais.

Neste trabalho se empreende uma avaliação do desempenho operacional de um sistema de co-geração à base de células a combustível de membrana polimérica trocadora de prótons, de 5 kW de potência elétrica nominal, existente no laboratório de células a combustível do CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica). A análise operacional efetuada, focada no desempenho do sistema, desenvolve simultaneamente as abordagens energética e econômica.

PALAVRAS-CHAVE

Células a combustível, Geração Distribuída, Hidrogênio, Gás Natural, Co-Geração, Análise de Desempenho

1.0 - INTRODUÇÃO

A Geração Distribuída (GD) de energia tem recebido grande atenção, principalmente nos mercados onde as demandas energéticas caracterizam-se pela busca por elevadas eficiência e qualidade, geração de menor porte e com menores impactos ambientais. Embora a definição de GD não seja objeto de consenso, pode-se conceituá-la como a geração de energia elétrica, em unidades de pequeno porte (em geral, menores que 30 MW), localizadas no ponto de carga ou próximas a ele (portanto, prescindindo de sistemas de transmissão), conectadas ou não (operando isoladamente) à rede elétrica de distribuição (1).

A GD de energia elétrica ainda é uma alternativa mais onerosa quando comparada aos tradicionais sistemas centralizados. Contudo, sua perspectiva de crescimento, em todo o mundo, é inegável conforme pode ser evidenciado por um trabalho recente (2), o qual indica uma expectativa de crescimento da capacidade instalada de 20 GW em 2001 para cerca de 300 GW em uma década (até 2011). Uma estimativa menos otimista foi apresentada por Bauen *et. al.* (3) prevendo que no final da primeira década deste século a capacidade instalada seria de cerca de 40 GW e atingiria 190 GW em 2020. Qualquer que seja a previsão, trata-se de uma capacidade de geração significativa e suficiente para facilitar uma rápida penetração no mercado das diversas tecnologias de geração distribuída. O aumento da escala de produção dos sistemas de geração necessariamente reduziria o

custo unitário dos mesmos e permitiria a ampliação do seu uso pelas camadas sociais economicamente menos favorecidas.

Dentre as principais tecnologias de geração energética que têm sido consideradas com potencial de aplicação em GD destacam-se as células a combustível, as microturbinas a gás, os motores de combustão interna de baixas emissões, os motores *Stirling*, as turbinas eólicas, as pequenas e micro centrais hidroelétricas e os painéis fotovoltaicos (1). A combinação de algumas destas alternativas, tais como o emprego de fontes renováveis para a produção de hidrogênio para células a combustível (CaC), a implementação de sistemas híbridos utilizando microturbinas associadas à CaC em sistemas de co-geração ou ainda a utilização de etanol como fonte de hidrogênio para CaC, são opções tecnológicas com alta possibilidade de utilização em médio prazo (4). Contudo, em curto prazo, a GD e o atendimento às localidades isoladas estariam ainda associadas ao uso de combustíveis fósseis (essencialmente gás natural) ou às fontes de energia renováveis nos locais favoráveis a estas tecnologias.

As CaC deverão ocupar uma posição de destaque na GD, a médio e longo prazos, à medida que atinjam custos unitários de instalação e operação competitivos com as demais tecnologias, ocupando, gradativamente, nichos de mercado específicos para sistemas de alta qualidade de energia ou que possam se beneficiar dos incentivos para introdução de tecnologias de geração de menor impacto ambiental ou ambientalmente sustentáveis (4). As células a combustível possuem algumas características que, potencialmente, as tornam elegíveis para a geração de energia em localidades remotas: altas eficiência e confiabilidade; excelente desempenho em cargas parciais; ausência ou baixas emissões de poluentes, expectativa de intervalos elevados entre falhas; ausência de partes móveis e, portanto, silenciosas; possibilidade de ampla faixa de potência – mercado do tipo *Taylor made* (ou seja, flexibilidade para atendimento a necessidades específicas) - e possibilidade de operação remota.

Células a combustível constituem-se numa forma limpa, silenciosa e eficiente de geração de energia a partir de combustíveis como hidrogênio, gás natural, etanol ou outros hidrocarbonetos. Trata-se de um dispositivo eletroquímico - que consiste, essencialmente, de dois eletrodos (anodo e catodo) separados por um eletrólito - em que um combustível e um agente oxidante reagem (intermediados pelo processo de condução iônica no eletrólito), convertendo diretamente a energia eletroquímica da reação em energia elétrica e térmica. O combustível, alimentado ao anodo, é oxidado, e o agente oxidante (comumente ar ou oxigênio puro), alimentado ao catodo, é reduzido. Em CaC de membrana polimérica, os elétrons liberados na reação anódica passam por um circuito externo, constituindo um fluxo de corrente elétrica; os íons produzidos no anodo são conduzidos, através do eletrólito, para o catodo, onde ocorre a redução catódica com a conseqüente formação de água (5).

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma avaliação do desempenho, realizada com base em alguns ensaios elétricos efetuados numa CaC de membrana polimérica trocadora de prótons (do inglês *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*, PEMFC), de 5 kW de potência elétrica, existente no laboratório de células a combustível do CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), a qual em conjunto com o reformador de gás natural constitui um sistema de geração para estudos de GD, conforme ilustrado na Figura 1.

2.0 - EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Todos os ensaios elétricos apresentados e discutidos neste trabalho foram efetuados no sistema de GD formado por uma PEMFC e um reformador de gás natural (GN), ambos mostrados na Figura 1.



FIGURA 1 – Sistema de célula a combustível de membrana polimérica trocadora de prótons do Laboratório de Células a Combustível do CEPEL: (A) reformador de GN; (B) unidade PEMFC – 5 kW; (C) sistema de eletrônica de potência (inversor CC/CA) e banco de baterias; (D) detalhes dos gabinetes abertos.

A unidade PEMFC, de 5 kW de potência elétrica, é constituída por um empilhamento (*stack*) – o bloco central com capa de alumínio, no interior do gabinete B, mostrado na Figura 1 – de noventa CaC unitárias de área efetiva igual a 380 cm² cada uma, e um conjunto de sistemas auxiliares de processo, de monitoração e de controle, que visam

assegurar o estabelecimento das condições adequadas para o funcionamento da unidade, principalmente no que diz respeito às condições de umidificação dos gases reagentes e do eletrólito polimérico, bem como ao gerenciamento térmico e hídrico do empilhamento. O sistema é modular e flexível possibilitando a substituição do empilhamento. O sistema de eletrônica de potência (inversor CC/CA) é formado por pontes de IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), filtros e o transformador, possibilitando o fornecimento de tensão e corrente elétrica alternadas (127/220 V, 60 Hz). A modularidade e grau de integração da configuração total permitem minimizar os problemas de paradas de manutenção característicos de geradores convencionais. Adicionalmente, as características supracitadas e os parâmetros de saída possibilitam a conexão em paralelo com a rede, permitindo que o sistema funcione tanto como um *no-break*/estabilizador quanto um retificador/suavizador da forma de onda disponibilizada à carga, reduzindo picos e eventuais quedas de nível de tensão e apresentando distorção harmônica total inferior a 1%. Estas características permitem a operação com cargas isoladas ou não sem perda de desempenho e credenciam o sistema para aplicações onde o fornecimento de energia elétrica é bastante crítico, principalmente no que diz respeito aos requisitos de confiabilidade e qualidade.

O reformador de gás natural – gabinete A na Figura 1 –, adquirido junto à empresa IdaTech (EUA), produz hidrogênio mediante a reforma catalítica a vapor do gás natural, sendo capaz de produzir 65-68 l/min de H₂, a 13,8 kPa, com um consumo de até 35 l/min de gás natural, a 2-5 kPa, e 4,8-5,0 l/h de água deionizada. O reformador utiliza um sistema de membranas de paládio para purificação do gás reformado, possibilitando o fornecimento de hidrogênio com apenas 0,5-1,0 ppm de CO, 1,8-3,0 ppm de CO₂ e no máximo 180 ppm de CH₄.

A unidade PEMFC é capaz de operar tanto com o hidrogênio produzido pelo reformador de GN quanto com aquele fornecido em cilindros pressurizados, bem como com misturas de ambos. A alimentação de hidrogênio, operando em regime na potência nominal, é de 60-70 l/min, a 120-140 kPa. A CaC também pode operar tanto com oxigênio puro fornecido em cilindros pressurizados quanto com ar ambiente insuflado por um soprador, em vazões da ordem de 100-700 l/min. Um sistema de resfriamento à água garante a operação do empilhamento à cerca de 40-48°C, com máxima temperatura de operação de 80°C. Este sistema também tem possibilidade de fornecer água quente, a uma temperatura típica de 38-45°C, resultante da potência térmica gerada na CaC, a qual, numa unidade comercial, poderá ser aproveitada para aquecimento de água para uso doméstico ou comercial.

Todos os dados de tensão (potencial de operação, U), corrente elétrica (I) e potência elétrica, utilizados neste trabalho, foram obtidos diretamente do sistema de monitoramento da unidade PEMFC, sob condições estáveis de operação em regime estacionário, mediante a permanência mínima de dois minutos, do sistema em cada condição de potencial e corrente estudada, e através do acoplamento de uma carga elétrica (CC), a qual foi empregada para simular a condição de um consumidor hipotético. Portanto, não se fará, neste trabalho, qualquer análise dinâmica em regime transitório. Todos os resultados subsequentes são valores médios e as barras de erro foram utilizadas (quando foi o caso, em função da escala adotada) para representar a variação do parâmetro considerado em relação ao seu valor médio. Os resultados de desempenho elétrico (Figuras 3 a 6) representam o valor médio de oito medições (ensaios) realizados sob as mesmas condições, ao passo que a avaliação das polarizações (Figura 2) foi feita com base em três medições (ensaios).

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2(a) apresenta oito curvas tensão versus corrente, obtidas com intervalos de 5 minutos (durante o qual o sistema permaneceu no potencial de circuito aberto subsequente), características da unidade PEMFC 5 kW nos ensaios iniciais de desempenho. Nota-se claramente o processo de ativação da CaC, uma vez que as oito curvas (numeradas de 1 a 8, na ordem da ativação crescente) mostram, para uma mesma corrente solicitada, potenciais (níveis de tensão) crescentes. Por exemplo, para uma corrente de 60 A, tomado como um ponto característico da região de operação da unidade, a diferença de potencial entre as curvas 1 e 8 é de 50,3% (17,6 V), o que representa uma perda de potência da ordem de 1 kW, 20% da potência elétrica nominal da CaC. Além disso, os próprios potenciais de circuito aberto associados às curvas 1 a 8 são, respectivamente, 83,0; 85,0; 85,8; 86,0; 86,2; 86,7; 87,6 e 88,2 V, uma diferença relativa de 6,3% entre as curvas 1 e 8, denotando igualmente o processo de ativação, que capacita a unidade a atender a maiores níveis de potência. Este processo está relacionado à desativação reversível dos eletrocatalisadores Pt-Ru/C utilizados em PEMFC, que tipicamente ocorre quando a CaC não está em operação (2, 3), principalmente por longos períodos ou no início de sua vida útil. Procedimentos de "ciclagem" (acoplamento e desacoplamento de cargas crescentes) da CaC com o progressivo aumento da solicitação de corrente são utilizados para ativar os catalisadores e colocar a CaC em condições de operação em regime, quando então se consegue a máxima eficiência de geração.

Adicionalmente as Figuras 2(b) e 2(c) mostram, respectivamente, curvas de corrente elétrica constante (cargas fixas de 10, 30, 50, 70 e 90 A) e curvas equipotenciais (40, 60 e 80 V) em função do número da curva de ativação (I x U) da Figura 2(a). No primeiro caso, verifica-se, para todas as curvas, a contínua elevação do potencial de operação da CaC, para todas as correntes (cargas) consideradas. Nota-se também que a amplitude desta elevação é tanto maior quanto mais intensa é a corrente elétrica solicitada. No segundo caso, Figura 2(c), verifica-se que o incremento na intensidade da corrente elétrica é significativamente maior para o potencial de 40 V, quando comparado aquele associado às curvas de 60 e 80 V, mostrando a aproximação do término do ciclo de

ativação da unidade. A Figura 2(d) mostra o comportamento da resistência total ao fluxo de corrente elétrica associada às curvas de ativação 1 e 8.

A Figura 3(a) mostra a curva média experimental que relaciona o potencial da CaC e a corrente drenada pela carga acoplada, evidenciando três regiões típicas: (i) A região até aproximadamente 20 A, onde predominam as perdas associadas à polarização por ativação, as quais estão relacionadas aos processos cinéticos que ocorrem nos eletrocatalisadores, intrinsecamente ligadas aos mecanismos das reações heterogêneas que têm lugar em PEMFC. Os estudos relacionados à obtenção de novos sistemas eletrocatalisadores ou a otimização dos existentes têm por objetivo a redução das perdas associadas à polarização por ativação, bem como a redução de custos destes catalisadores. (ii) A região intermediária de corrente elétrica, entre 20 e 80 A, onde a queda de potencial deve-se principalmente à resistência ôhmica, a qual está relacionada às resistências ao fluxo de íons no eletrólito e ao fluxo de elétrons através dos eletrodos, além das resistências de contato, as quais são proporcionais à densidade de corrente produzida, no sentido da lei de Ohm. A redução deste tipo de perda se beneficiará do desenvolvimento de novos eletrólitos e do aperfeiçoamento do projeto das células unitárias, em especial da diminuição da separação entre os eletrodos. No caso das PEMFC as condições de umidificação da membrana têm um papel preponderante, uma vez que estas determinam a condutividade iônica da mesma. (iii) Para correntes acima de 80 A ocorre o predomínio da polarização por concentração (difusional), que tem sua origem no estabelecimento de um gradiente de concentração do reagente que é consumido no eletrodo através da reação eletroquímica, envolvendo principalmente a difusão dos reagentes e dos produtos através do eletrólito a partir dos sítios reacionais. Embora a polarização por concentração ocorra em toda a faixa de corrente, ela é mais significativa na região de altas densidades de corrente, onde cresce a dificuldade em prover suficiente quantidade de reagente aos sítios reacionais.

Em complemento, as Figuras 4(a) e 4(b) mostram, de forma ampliada, respectivamente, as regiões típicas de polarização por ativação e por concentração associadas à curva I x U da Figura 3(a), bem como os melhores ajustes dos dados experimentais para as respectivas curvas. No primeiro caso, tem-se essencialmente um decaimento exponencial de terceira ordem e, no segundo caso, um perfil sigmoidal para a queda de potencial devido à polarização por concentração (difusão).

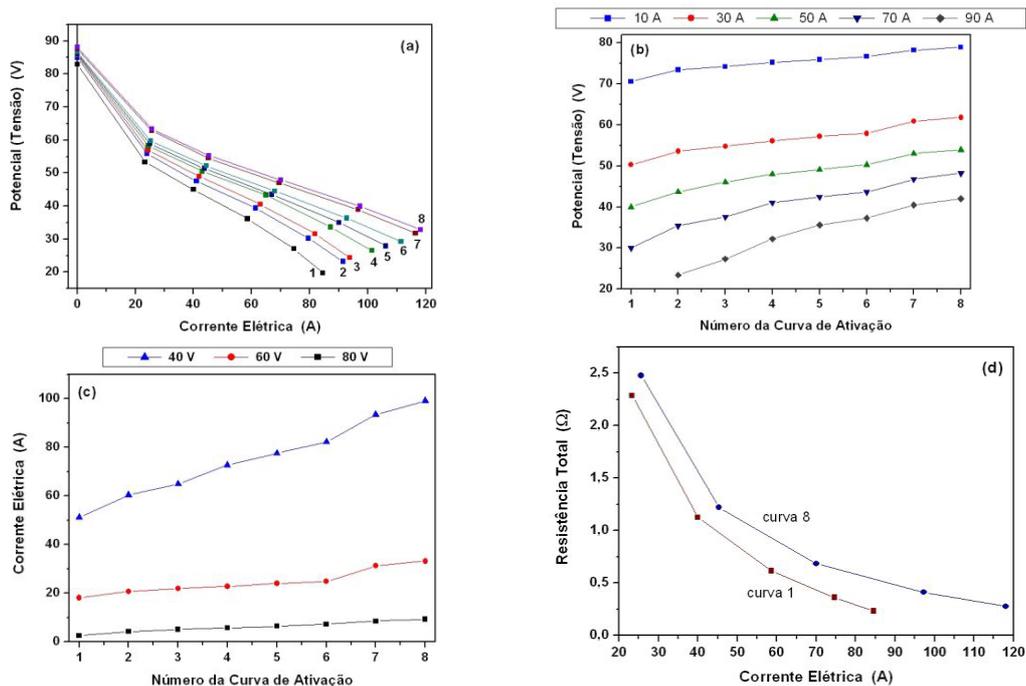


FIGURA 2 – Resultados de ensaios elétricos acerca do processo de ativação da CaC (PEMFC) de 5 kW: (a) diferentes curvas I x U evidenciando o processo de ativação da unidade; (b) curvas a corrente elétrica constante; (c) curvas equipotenciais; (d) curvas da resistência total em função da corrente elétrica.

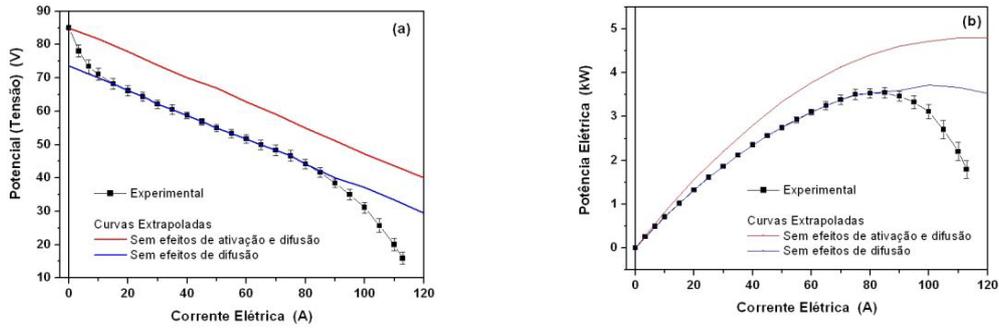


FIGURA 3 – Resultados de ensaios elétricos acerca do desempenho da CaC de 5 kW: (a) curvas de corrente (I) versus potencial (U); (b) curvas de corrente versus potência elétrica.

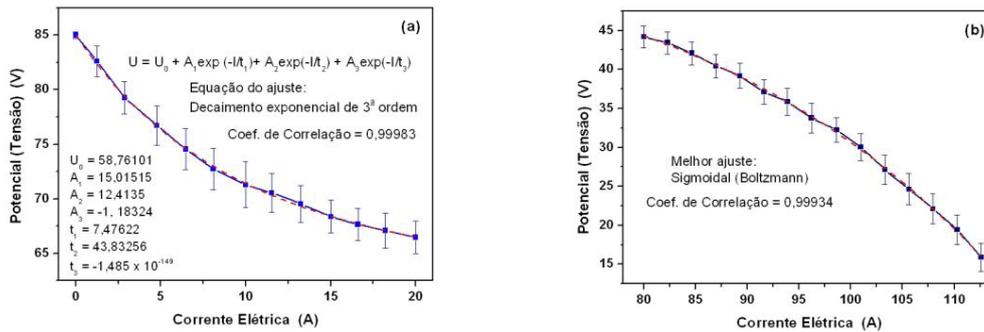


FIGURA 4 – Resultados de ensaios elétricos acerca de regiões da curva I x U mostrada na Figura 3: (a) detalhe da região de polarização por ativação; (b) detalhe da região de polarização por concentração.

Na Figura 5(a) são mostradas curvas experimentais I x U e de potência elétrica versus corrente elétrica, na região típica de operação (região intermediária das Figuras 3(a) e 3(b)) da PEMFC analisada, bem como uma curva teórica para a potência térmica disponível, supondo-se perdas da ordem de 20% no sistema de transferência térmica, no caso considerado. Na Figura 5(b) tem-se os resultados de uma análise econômica, envolvendo o custo de capital, custos de operação e manutenção (CO&M), os custos do combustível utilizado, e o custo da energia elétrica gerada (CoE), de uma unidade de CaC operando segundo os perfis considerados na Figura 5(a), em situação apenas de geração elétrica e de co-geração; obtendo-se uma redução da ordem de 18% no CoE no segundo caso em relação ao primeiro.

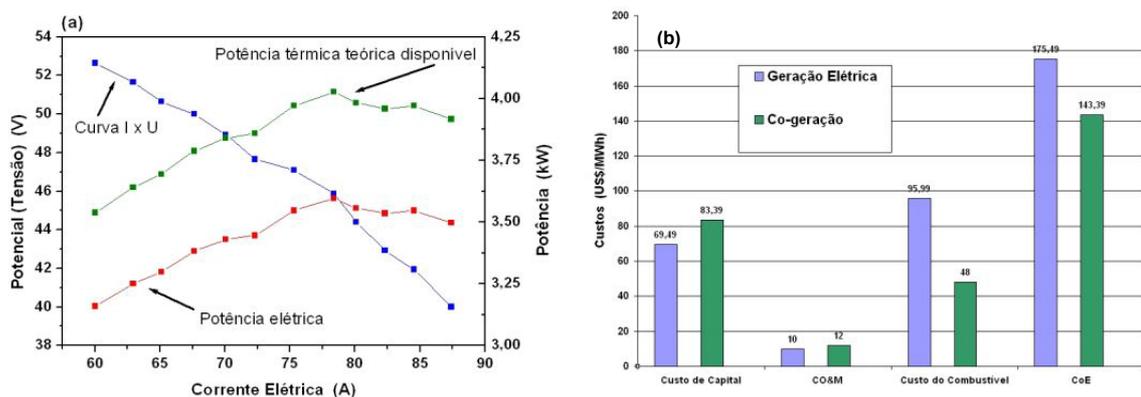


FIGURA 5 – Resultados de desempenho: (a) curvas I x U e de potência versus corrente elétrica, na região típica de operação (região intermediária das Figuras 3(a) e 3(b)) da PEMFC analisada; (b) resultados dos custos associados à geração de energia elétrica para as condições de potências consideradas em (a).

A partir dos dados I x U obtidos para a PEMFC estudada (acompanhando carga parcial), pode-se estimar o nível de rendimento químico da unidade nas condições consideradas. A Figura 6(a) apresenta as curvas de potência

elétrica gerada e de rendimento químico do processo em função do potencial médio por CaC unitária, na faixa de 40 a 60 V; com potência elétrica (carga) variando de 1,5 a 3,3 kW.

Os valores de potencial médio por CaC unitária da ordem de 0,60–0,70 V são mais factíveis em unidades para aplicações (portanto, em boas condições de ativação), correspondendo, no presente caso, a valores de rendimento químico da ordem de 0,62–0,68. Estas considerações permitem verificar que o rendimento químico da unidade, em fase de ativação, e no máximo ponto de carga especificado, é da ordem de 68%; ou seja, sob as condições analisadas, o fator de utilização do hidrogênio é de 0,68. Idealmente, o fator de utilização de um combustível deve ser próximo da unidade, de forma a aumentar a eficiência global do sistema de geração. De fato, valores de potencial médio por CaC unitária inferiores a 0,60 denotam que a respectiva CaC ainda encontra-se em processo de ativação e que o uso conjunto de “ciclagem” com cargas de maior potência e a utilização de maiores vazões de hidrogênio e ar (principalmente excesso estequiométrico de hidrogênio) podem ainda ser empregados para a otimização operacional da CaC.

Este, contudo, deve ser apenas um procedimento de ativação da unidade, já que operar com excesso de hidrogênio (ou, de forma análoga, excesso do combustível primário, no caso, GN) equivale a reduzir o rendimento químico do processo e, portanto, reduzir a economicidade da geração de energia com CaC. Com efeito, a Figura 6(b) mostra o custo dos combustíveis (GN e hidrogênio) na geração de energia elétrica, para os pontos de carga da Figura 6(a), em função de preços médios praticados para estes combustíveis. O valor de preço adotado para o hidrogênio puro (fornecido em cilindros) é ainda aquém do valor médio praticado no mercado para este produto e, ainda assim, torna o custo de geração proibitivo para aplicações práticas. No caso do GN, foram adotados três valores típicos de mercado internacional, em função da classe de fornecimento. Verifica-se que, em todos os casos, à medida que se aumenta o potencial médio por CaC unitária, tem-se um melhor aproveitamento da energia contida no combustível, reduzindo-se o impacto dos custos dos combustíveis. No caso do hidrogênio, há uma redução da ordem de 25% no custo do combustível entre os dois extremos da curva apresentada na Figura 6(b) e, para o caso do GN, reduções equivalentes do custo do combustível são obtidas em função do aumento do potencial médio de geração.

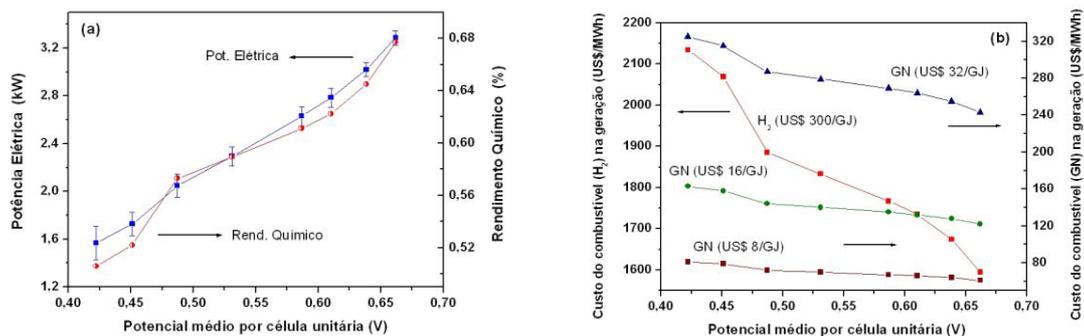


FIGURA 6 – Resultados de ensaios elétricos acerca do desempenho da CaC de 5 kW: (a) potência elétrica gerada e de rendimento químico do processo em função do potencial médio por CaC unitária para a PEMFC analisada; (b) custo dos combustíveis (GN e hidrogênio) na geração de energia elétrica, para os pontos de carga considerados em (a).

4.0 - CONCLUSÃO

Os resultados operacionais obtidos indicam que a unidade PEMFC 5kW encontra-se em processo de ativação, com vistas à obtenção das máximas potência e eficiência, e que com o prosseguimento deste processo, a CaC tornar-se-á capaz de operar em potenciais mais elevados, aumentando-se, assim, o rendimento químico do sistema de geração e reduzindo-se o custo da energia elétrica gerada; o que se torna mais significativo quando se opera o sistema como uma unidade de co-geração, ou seja, mediante o aproveitamento do rejeito térmico do sistema.

Sob as condições analisadas a maior parcela na formação do custo da energia elétrica gerada refere-se ao custo do combustível primário, seguido de perto pelo investimento fixo da unidade de geração. No primeiro caso, verifica-se a importância da existência de uma infra-estrutura adequada para o mercado de combustíveis, a definição de uma política tarifária para o setor, bem como a necessidade de pesquisas para o desenvolvimento de sistemas multcombustíveis. No segundo caso, pode-se considerar que reduções de custo podem ser obtidas através da massificação da produção dos sistemas.

Adicionalmente, obteve-se bons ajustes dos resultados experimentais acerca dos processos de polarização por ativação e por concentração para a unidade de célula a combustível analisada, os quais serão futuramente utilizados na análise do comportamento dinâmico dos sistema aqui estudado.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Geração Distribuída: Geração de Energia Elétrica com um Sistema a Gás Natural de Baixo Custo - Melo, S. G., Antunes, F. L. M., Daher, S. - XVII SNTPEE, Uberlândia, 2003
- (2) Distributed Generation – Global Market Analysis, Technology Assessment and Outlook, Allied Business Intelligence - www.abiresearch.com/abiprdisplay2.jsp?pressid=96 , 2002.
- (3) Fuel Cells for Distributed Generation in Developing Countries – An Analysis - Bauen, A., Hart, D., Chase, A. - International Journal of Hydrogen Energy 28, p. 695-701, 2003.
- (4) Células a combustível: Uma alternativa para geração de energia e sua inserção no mercado brasileiro - Serra, E. T., Furtado, J. G. M., Soares, G. F. W., Neto, A. C. - CRESESB/CEPEL/ELETROBRAS, Rio de Janeiro, 2006
- (5) Fuel Cell-Fundamentals and Applications - Carrette, L., Friedrich, K. A., Stimming, U. - Fuel Cell 2001, Palm Springs, 2001

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

José Geraldo de Melo Furtado

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 29 de março de 1974.

Doutorado (2005) e Mestrado (2001) em Engenharia de Materiais: COPPE/UFRJ. Graduação (1997) em Engenharia Química: UFRJ

Empresa: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, desde 2002

Pesquisador do Departamento de Tecnologias Especiais - DTE

Evandro Sergio Camelo Cavalcanti

Nascido em João Pessoa, PB em 16 de dezembro de 1953.

Doutorado (1993) e Mestrado (1983) em Engenharia Mecânica pela COPPE/UFRJ e Graduação (1978) em Engenharia Mecânica pela UFRJ

Empresas: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica -CEPEL 1978-2006, Petróleo Brasileiro S.A., desde 12/2006

Engenheiro de Equipamentos Pleno

Diana Albani Siqueira

Nascida em Nova Friburgo, RJ em 04 de junho de 1982.

Graduação (2004) em Engenharia Mecânica: UERJ-Nova Friburgo-RJ

Empresa: CEPEL - Centro de Pesquisas em energia Elétrica

Bolsista de Mestrado

Renata Nunes Oliveira

Nascida no Rio de Janeiro, RJ em 14 de julho de 1984

Graduanda em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Estágio no CEPEL no período de 07/2006 a 02/2007

Francisco da Costa Lopes

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 26 de outubro de 1976.

Mestrado (2006) em Engenharia Elétrica: COPPE/UFRJ. Graduação (1997) em Engenharia Eletrônica: UFRJ

Empresa: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, desde 2006

Pesquisador do Departamento de Tecnologias Especiais - DTE

Eduardo Torres Serra

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 12 de janeiro de 1948.

Doutorado (1980) e Mestrado (1975) em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (COPPE/UFRJ) e Graduação (1970) em Engenharia Metalúrgica (IME)

Empresas: CBV Indústria Mecânica (1970-1973), Companhia Telefônica Brasileira (1973-1975), CEPEL (1975-1986), TECMAT Tecnologia de Materiais (1987-1991), CEPEL, desde 1992

Pesquisador Consultor, Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Coordenador do Comitê de Estudos D1 do CIGRÉ-Brasil