



GRUPO-2

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

ANÁLISE ENERGÉTICO-ECONÔMICA DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E COGERAÇÃO À BASE DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL PARA APLICAÇÕES RESIDENCIAIS

José Geraldo de Melo Furtado(*)
CEPEL

Natalia Ladeira
UFRJ

Francisco da Costa Lopes
CEPEL

RESUMO

Sistemas de geração de energia com células a combustível (CaC) têm sido considerados, principalmente, para aplicações no âmbito da Geração Distribuída (GD) de energia elétrica e em sistemas de cogeração (CHP, *Combined Heat and Power*), uma vez que as células a combustível são os mais eficientes geradores de energia elétrica conhecidos e têm apresentado contínuo declínio dos custos e grande capacidade de redução de emissões de poluentes causadores do efeito estufa. Dessa forma, diversas unidades e sistemas de geração estacionária de energia elétrica à base de CaC (com potências desde 0,5 kW até superiores a 1 MW) têm sido instalados em diferentes mercados, notadamente no Japão, Estados Unidos, Coréia do Sul e na Europa.

O presente trabalho apresenta os principais resultados de um estudo que avaliou o emprego de CaC no segmento residencial do setor elétrico-energético brasileiro, com base nas características de desempenho operacional de dois tipos de CaC – dos tipos PEMFC (CaC de Membrana Polimérica) e SOFC (CaC de Óxidos Sólidos) –, integrando sistemas GD-CHP, com potências elétricas nominais de 0,5, a 5,0 kW, operando com diferentes combustíveis (gás natural, biometano, etanol e hidrogênio), todos via reforma para produção local de hidrogênio.

PALAVRAS-CHAVE

Geração Distribuída, Cogeração, Células a Combustível, Hidrogênio, Avaliação Técnico-Econômica

1.0 - INTRODUÇÃO

A partir dos anos 2000, paralelamente à crescente importância das preocupações relativas às emissões de poluentes e às alterações climáticas, a Geração Distribuída (GD) de energia elétrica tem ganhado importância no cenário elétrico-energético mundial, permitindo reduzir a necessidade de expansão da geração centralizada, economizando recursos, reduzindo perdas e podendo agregar tecnologias mais eficientes de geração (1, 2). Nesse cenário, sistemas de geração de energia com células a combustível (CaC) têm sido considerados, principalmente, para aplicações no âmbito da GD e em sistemas de cogeração (CHP, *Combined Heat and Power*), uma vez que as células a combustível são, potencialmente, os mais eficientes geradores de energia elétrica conhecidos e têm apresentado contínua redução de custos e grande capacidade de minimização de emissões de poluentes causadores do efeito estufa (3, 4).

Dessa forma, diversas unidades e sistemas de geração estacionária de energia elétrica à base de CaC (com potências desde 0,5 kW até superiores a 1 MW) têm sido instalados em diferentes mercados, notadamente no Japão, Estados Unidos, Coréia do Sul e na Europa (5, 6). Quanto à inserção das tecnologias de CaC nos diferentes mercados pode-se considerar uma classificação dessas aplicações conforme a apresentada na Figura 1, sendo que as três principais divisões representam os mercados de aplicações veiculares, estacionárias e portáteis.

No âmbito das aplicações estacionárias das CaC – constituindo o principal mercado, que no último ano representou cerca de 75,6%, cf. Figura 1 – o foco está em gerar potência elétrica (e, muitas vezes, também calor, portanto, sistemas CHP), sendo que a função típica das CaC estacionárias é fornecer energia elétrica para cargas ou consumidores localizados nas proximidades do sistema de geração, embora, à medida que as CaC estacionárias tornam-se maiores em potência nominal também passa a ser mais frequente o fornecimento de energia elétrica às redes locais (principalmente microrredes) ou mesmo regionais, operando em conexão à rede elétrica. Geralmente se considera que as unidades de CaC para aplicações estacionárias apresentam potência elétrica nominal compreendida entre 0,5 kW e 400 kW (5, 7). Para sistemas de geração com maiores potências instaladas diversas unidades ou módulos podem ser conjugados, perfazendo plantas de geração de energia elétrica que podem apresentar potências superiores a 10 MW (5, 6).

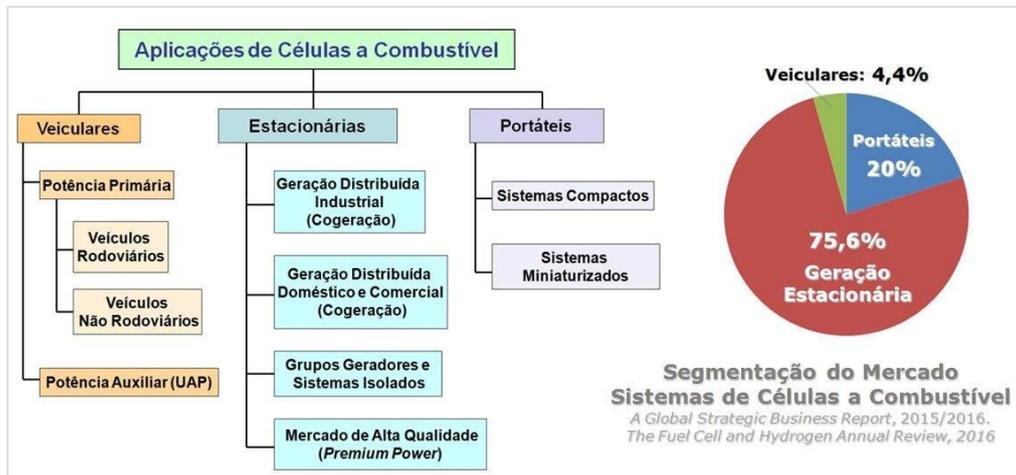


FIGURA 1 – Classificação dos principais mercados de aplicações de células a combustível [Ref. (6)].

Os resultados acerca da série histórica dos últimos anos em termos de comercialização de CaC para aplicações veiculares, estacionárias e portáteis, mostrados na Figura 2, evidenciam a crescente importância do mercado de aplicações estacionárias, tanto em termos de unidades quanto de potência elétrica comercializadas, em especial a partir de 2011, quando o crescimento da comercialização dos sistemas estacionários começou a se distanciar daqueles dos demais mercados. Com base nos dados da Figura 2, considerando-se o último ano, tem-se uma potência de 253,2 MW e cerca de 64.890 unidade; o que representa uma potência média da ordem de 3,6 kW. Evidentemente, essa é apenas uma aproximação, pois, na prática, em se tratando de CaC de forma geral, boa parte das unidades comercializadas são de baixa potência, tipicamente até 2 kW, mas existem sistemas com módulos básicos de 300 kW a 2 MW (5, 8).

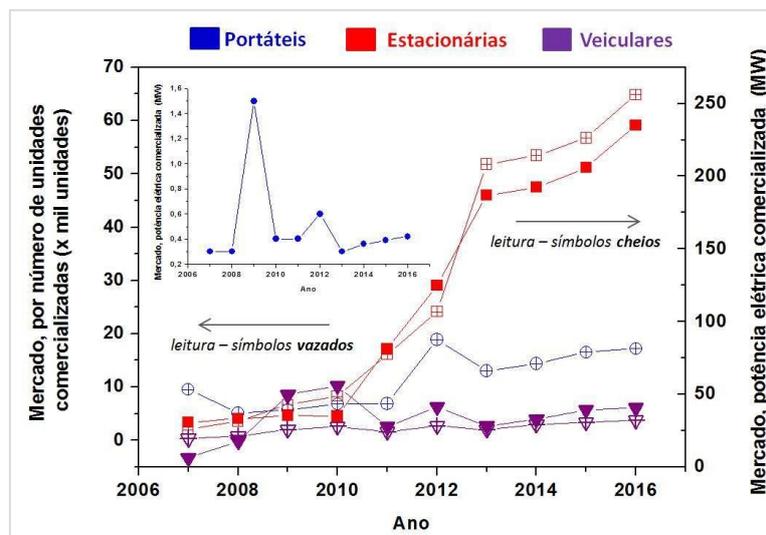


FIGURA 2 – Evolução acerca dos principais mercados de aplicações de células a combustível, por número de unidades e por potência elétrica instalada comercializadas, de 2007 até 2016 (no detalhe tem-se a representação da potência instalada nos sistemas portáteis, a qual, sendo muito menor, não aparece na escala da figura maior). [Fontes: Referências (5) e (6)].

É nesse cenário que o presente trabalho apresenta os principais resultados de um estudo que avaliou o emprego de CaC no segmento residencial do setor elétrico-energético brasileiro, com base nas características de desempenho operacional de dois tipos de CaC – dos tipos PEMFC (CaC de Membrana Polimérica) e SOFC (CaC de Óxidos Sólidos) –, integrando sistemas GD-CHP, com potências elétricas nominais de 0,5, a 5,0 kW, operando com diferentes combustíveis (gás natural, biometano, etanol e hidrogênio), todos via reforma para produção local de hidrogênio, incluindo armazenamento convencional sob pressão (150-200 bar) (9).

2.0 - CÉLULAS A COMBUSTÍVEL PARA APLICAÇÕES RESIDENCIAIS

Dado que, conforme considerado nas Figuras 1 e 2, as aplicações estacionárias de CaC constituem o principal mercado desses geradores de energia, muitos têm sido os projetos e sistemas comercializados, os quais são essencialmente distribuídos nos quatro segmentos típicos do mercado estacionário, cf. Figura 1: o mercado *Premium Power* (sistemas de segurança e *backup*), as aplicações em sistemas isolados, e as aplicações de GD, as quais podem ser industriais ou comerciais e domésticas. Estas últimas, em especial as residenciais, são as que empregam os sistemas de CaC com as menores potências, tipicamente entre 0,5 kW e 5,0 kW (5, 10).

Mas, atualmente, o mais bem sucedido projeto de demonstração e de inserção de sistemas GD-CaC-CHP é certamente o “Projeto Ene-Farm”, o qual tem sido desenvolvido no Japão desde 2002, tendo chegado ao estágio comercial em 2009 (com subsídios parciais e decrescentes do governo). No final de 2013 cerca de 50.000 sistemas GD-CaC-CHP já tinham sido instalados no Japão (5, 10, 11). Este projeto foi inicialmente baseado na tecnologia PEMFC, com sistemas CHP (produzindo água quente para uso doméstico) de 0,7-1,0 kW de potência elétrica, alimentados a gás natural, com eficiência elétrica de 35-40% e eficiência energética global da ordem de 80% (9, 10). Além do governo japonês o projeto congrega diversos fabricantes de CaC e empresas dos setores de gás natural e de energia elétrica. Os resultados do projeto têm popularizado este tipo de geração no Japão e contribuído com uma redução média de 23% no uso residencial de energia primária e uma redução da ordem de 38% nas emissões de CO₂ (11).

Os bons desenvolvimentos do Projeto Ene-Farm com os sistemas PEMFC levaram ao estabelecimento, a partir de 2012, de uma vertente (ainda não comercial) com sistemas SOFC (0,7 kW), também operando com GN, com eficiências elétrica e global de, respectivamente, 46,5% e 90% (11, 12). Um aspecto importante para os desenvolvimentos dos sistemas CHP no âmbito do Projeto Ene-Farm é o fato de que no Japão as residências apresentam grande demanda por água quente (os valores médios característicos da demanda energética residencial são: 33% água quente, 29% aquecimento, 38% outros usos) (12). Dessa forma, os sistemas CaC-CHP propostos conseguem atender parcialmente às demandas elétrica e térmica (neste caso, em substituição aos aquecedores tipo *boiler*) de muito usuários residenciais, conforme sugerido pelas ilustrações da Figura 3, a qual apresenta um esquema de uma unidade CaC-CHP (a), seu papel residencial (b) e possíveis configurações em função das demandas por serviços (energia elétrica e calor) e das escalas envolvidas.

No Brasil, o consumo residencial de energia elétrica corresponde a cerca de um quarto do total (apresentando diferentes perfis em função da localização geográfico-climática), sendo essa energia usada para diversas finalidades, como arrefecimento, refrigeração e condicionamento de ar, iluminação, aquecimento de água e em outros aparelhos eletrodomésticos (13). Ainda que, em geral, a demanda térmica para aquecimento de ambiente seja pouco significativa, o aquecimento de água para banho e as necessidades em termos de refrigeração de ambientes são importantes. Dessa forma, pode existir um paralelismo, em termos energéticos, no que diz respeito ao atendimento aos consumidores residenciais em diferentes países e regiões do mundo.

Dessa forma, um típico sistema CaC-CHP tem uma configuração básica conforme mostrado na Figura 3(a), evidenciando o duplo uso do combustível primário, tanto para aquecer, via queimador, o sistema de processamento de combustível (que, em geral, funciona acima dos 500 °C), e também como fonte de hidrogênio (quando for o caso, que é o mais comum) para a CaC ou como alimentação direta da CaC. Além disso, verifica-se a representação do sistema de troca e recuperação térmica, que possui componentes internos e externos, e de um sistema de reservatório térmico (SRT), o qual tem a finalidade de permitir que as potências elétrica (PE) e térmica (PT) possam ser utilizadas de forma não simultânea, uma vez que, em muitos casos de aplicações reais, as demandas térmicas e elétricas não ocorrem ao mesmo tempo, estando então desacopladas (9, 15). Em muitos sistemas GD-CaC-CHP o SRT pode não estar presente – seja por dificuldades de engenharia ou por redução de custos – de tal forma que o uso da PT se faz de forma imediata ou num curto intervalo de tempo, como p. ex. é mostrado na Figura 3(b) na qual água é aquecida e enviada para consumo, numa aplicação residencial.

Nos estudos e análises aqui apresentados, para as avaliações empíricas (2 e 5 kW), todos os dados de tensão (potencial de operação, U), corrente elétrica (I) e potência elétrica (PE) foram obtidos diretamente do sistema de monitoramento das unidades de CaC (e validados por medições independentes de U e I), sob condições estáveis de operação em regime estacionário, mediante a permanência mínima de um minuto, do sistema GD em cada condição de potencial e corrente estudada, e através do acoplamento de uma carga elétrica que foi empregada para simular a condição de um hipotético consumidor. Os resultados de potência térmica (PT) foram obtidos a partir

de medições de temperatura da água do sistema de arrefecimento do conjunto de geração (incluindo o rejeito térmico do reformador de GN) e supondo-se perdas da ordem de 25% nos respectivos sistemas de transferência térmica, principalmente em função da baixa qualidade termodinâmica do rejeito térmico no caso considerado (por se tratar de uma CaC de baixa temperatura de operação) (9, 15). Para os demais sistemas foram utilizados os dados fornecidos pelos respectivos fabricantes, tendo por base a significativa concordância obtida com os resultados dos sistemas anteriormente avaliados experimentalmente (15, 16, 17). Assim, a Tabela 1 apresenta o resumo dos principais parâmetros e características dos sistemas CaC empregados no presente caso, bem como os parâmetros econômicos-financeiros considerados, e a Figura 4 apresenta as típicas curvas de desempenho (curvas de potencial e de potência elétrica) consideradas para as CaC com PE de 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 e 5,0 kW.

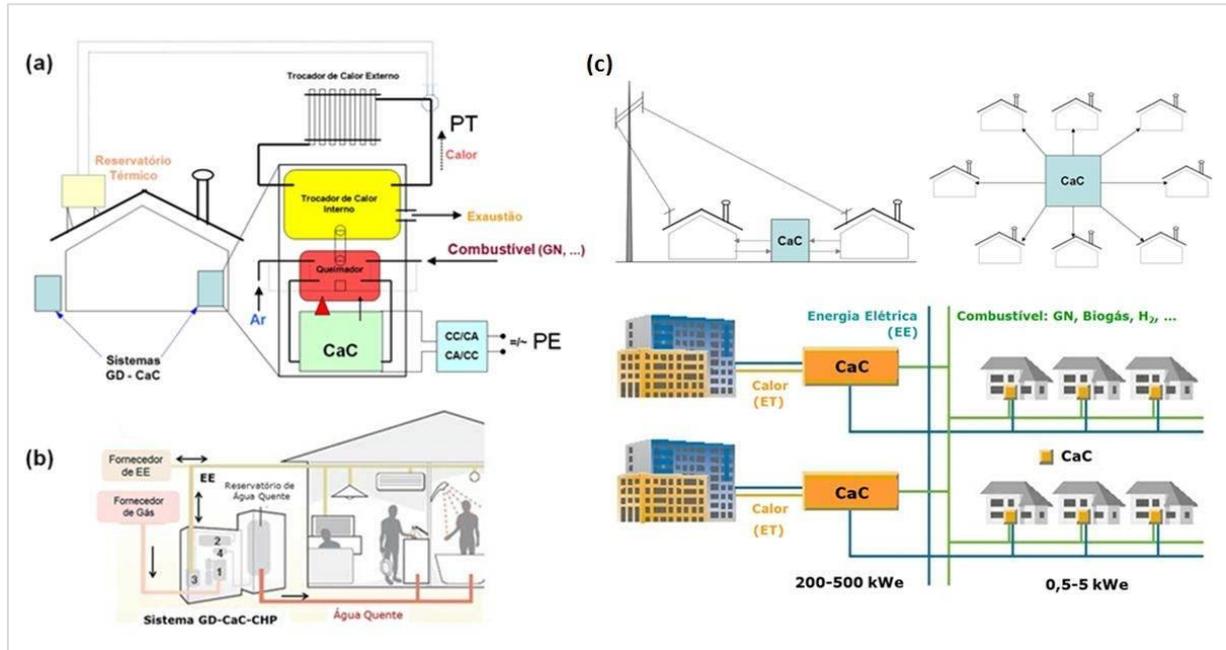


FIGURA 3 – (a) Esquema simplificado e (b) visão conceitual de um sistema de cogeração (CHP) com células combustíveis para aplicação estacionária; (c) Exemplos de configurações e usos de CaC em aplicações relacionadas à geração distribuída de energia elétrica (9).

Tabela 1 – Principais parâmetros técnicos e econômicos-financeiros que definem os casos base para as análises desenvolvidas no presente estudo

Parâmetro	PEMFC	SOFC	Parâmetro Econ.-Fin.	Valor
Pot. Elétrica (kW)	0,5 – 5,0	0,5 – 5,0	Fator de Capacidade - F_{CAP} (%)	100,00
Pot. Térmica (kW)	0,8 – 9,0	1,0 – 9,5	Taxa de Juros (% aa)	15,00
Temp. Operação (°C)	48 – 65	78 – 200	Período - n (anos)	10,00
Tensão Máx. (V)	110,0	110,0	Custo de Operação e Manutenção (US\$/kWh)	0,01 – 0,03
Corrente Máx. (A)	80,0	80,0	Custo/Preço do Combustível (US\$/GJ)	12,00 – 20,00
CaC unitárias	até 92	até 75	Eficiência da CaC (%)	39,00 – 48,00
Alimentação de H ₂ (Nm ³ /h)	até 65	até 58	Eficiência do Reformador (%)	70,00 – 80,00
Alimentação de Ar (Nm ³ /h)	até 180	até 250	Outras Ineficiências/Perdas do Sistema (%)	8,00 – 12,00
Custo da CaC (US\$/kW)	3.500,00	5.800,00	Eficiência Total do Sistema (%)	39,00 – 48,00
Custo Total do Sistema (US\$/kW)	14.000,00	25.300,00		

Os resultados de análises econômicas são baseados na atualização de estudos de viabilidade técnico-econômica e de progressão das tecnologias de CaC (9, 16) efetuados a partir do comportamento energético do sistema GD-CaC-CHP e têm por base a determinação do custo da energia elétrica gerada (CoE, em US\$/MWh) em sistemas de CaC e de suas parcelas constitutivas relacionadas ao investimento fixo, à manutenção e operação (O&M) e ao combustível empregado, conforme a Equação (1).

$$\text{CoE (US\$/MWh)} = 3,6 \frac{P_{\text{Comb}} \text{ (US\$/GJ)}}{\eta_{\text{Tot}}} + 10^3 \cdot \text{CO \& M (US\$/kWh)} + \frac{FA(j,n)}{8,76 \cdot F_{\text{CAP}}} \cdot \text{CaC}_{\text{IF}} \text{ (US\$/kW)} \quad (1)$$

onde P_{Comb} é o preço do combustível utilizado, CO&M é o custo de operação e manutenção do sistema GD, $FA(j,n)$ é o fator de anualização do investimento, F_{CAP} é o fator de capacidade (sendo a relação entre a energia efetivamente gerada em um ano (8760h), em MWh, e a energia máxima que poderia ser gerada se a CaC operasse 8760 h/ano na sua potência nominal), CaC_{IF} é o investimento (em US\$/kW) referente à aquisição e instalação do sistema GD-CaC-5kW e η_{Tot} é a eficiência energética total do sistema GD.

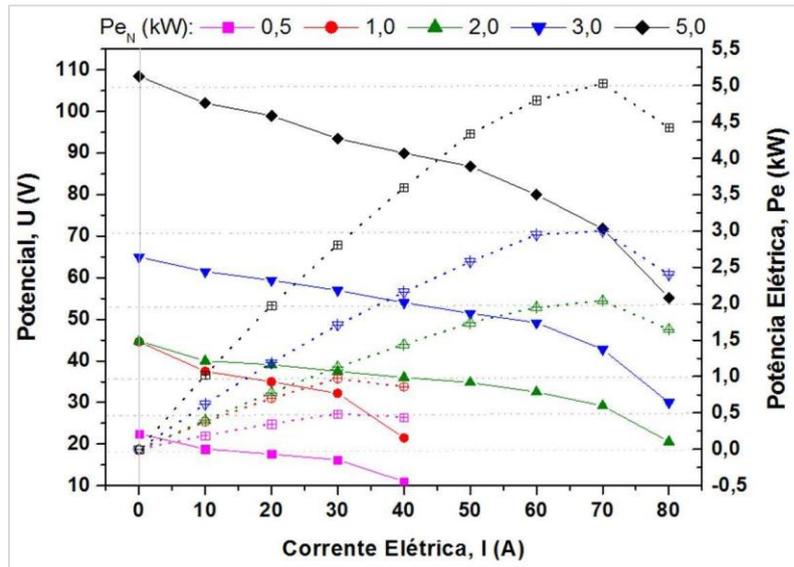


FIGURA 4 – Características de desempenho médio de sistemas de CaC na faixa 0,5-5,0 kW. As curvas contínuas com símbolos cheios são as de $U \times I$ e as curvas pontilhadas com símbolos vazados e cruzados são as de $Pe \times I$.

Com base nas curvas de desempenho da Figura 4 e nas considerações técnico-econômicas precedentes tem-se na Figura 5 os principais resultados de análise de sensibilidade técnico-econômica para os sistemas considerados neste trabalho, em termos do CoE em relação aos principais parâmetros avaliados (custos do combustível (em função do seu tipo), do IF normalizado (US\$/kW), do fator de capacidade (F_{CAP}), da eficiência total do sistema e do tamanho do sistema (em termos da PE)).

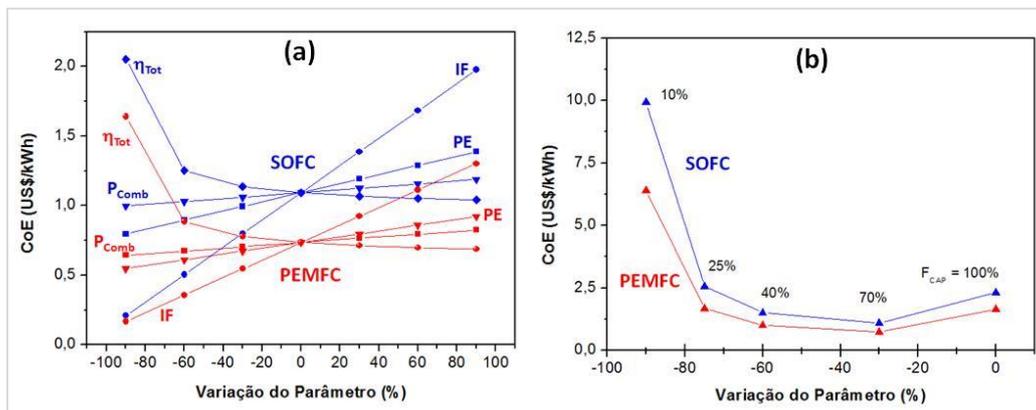


FIGURA 5 – Análise de sensibilidade do custo da energia elétrica gerada, CoE (US\$/kWh), em relação aos principais parâmetros avaliados: (a) tendo os custos do combustível, do IF normalizado (US\$/kW), da eficiência total do sistema e o tamanho deste como parâmetros; (b) idem ao (a) mas somente em relação somente ao F_{CAP} .

A partir dos resultados apresentados na Figura 5 nota-se claramente o impacto preponderante do F_{CAP} sobre o CoE gerada no sistema. De fato, isso típico de empreendimentos caracterizados pelo elevado investimento fixo imobilizado no sistema como um todo, o qual já se mostra significativo mesmo em condição de operação com F_{CAP} igual a 100%. Verifica-se também, cf. Figura 5(a), que a eficiência do sistema e o investimento fixo normalizado resultam em consideráveis impactos sobre o CoE, seguidos pelo tamanho do sistema e pelo preço do combustível primário. A observação de que este último se mostrou como acarretando o menor impacto sobre o CoE apenas

corroborar a percepção já mencionada de que a economicidade dos sistemas do tipo GD-CaC-CHP aqui considerados é dominada pelo investimento fixo, em função dos elevados valores associados aos principais equipamentos, o que é típico de tecnologias que estão principiando suas participações no mercado.

Em geral, à medida que essas tecnologias vão evoluindo, superando os principais obstáculos e ganhando maiores participações nos mercados o peso do investimento sobre o CoE deve se reduzir consideravelmente e, quando os sistemas de geração apresentam uma vida útil razoável (o que para sistemas PEMFC estacionários, atualmente, pode ser considerado da ordem de trinta mil a quarenta mil horas), o peso relativo do insumo/combustível sobre o CoE tende a ir aumentando (9, 14, 18). Tais observações são corroboradas pelos resultados e progressões dos principais projetos em andamento no mundo, notadamente o já citado “Projeto Ene-Farm” no Japão (10-12).

Nota-se também o importante papel desempenhado pela eficiência total do sistema GD-CaC-CHP, Figura 5(a). Com efeito, este parâmetro é, na verdade, um parâmetro múltiplo, pois é a eficiência global do sistema, que relaciona a entrada de combustível primário no reformador à saída de EE na CaC para o consumidor. Dessa forma, essa eficiência global é o produto das eficiências características das conversões/equipamentos/processos intermediários. Na prática, sobressaem-se as eficiências do reformador e da CaC, sendo que as demais podem ser agrupadas num índice que reflete as perdas ou ineficiências secundárias do processo como um todo, cf. Tabela 1. Para o caso de CaC do tipo PEM, atualmente, valores de eficiência elétrica da ordem de 38-42% são os mais comuns, ao passo que as SOFC podem atingir até 65% (7, 8, 18).

Na Figura 5(b) são mostradas em escala mais apropriada as curvas de CoE versus F_{CAP} , evidenciando os aspectos já considerados acerca do grande impacto do F_{CAP} sobre o CoE. Como o F_{CAP} do caso base foi definido como 100% as curvas mostram apenas o comportamento do CoE em função da redução do F_{CAP} ou do aumento da ociosidade do sistema GD-CaC-CHP, o que, na abordagem aqui desenvolvida, resulta em incrementos muito significativos no CoE, pois o elevado investimento fixo passa a não resultar em geração de energia de forma proveitosa. Assim, de acordo com o gráfico mostrado na Figura 5(b), a influência da ociosidade do sistema sobre o CoE final pode ser bastante significativa para todas as condições avaliadas, sendo uma característica típica de tecnologias entrantes, o que está na base das ações governamentais nos principais projetos atualmente existentes no mundo, de forma a mitigar os problemas daí oriundos.

Nas condições até aqui consideradas, os valores do CoE obtidos para os casos base (cf. Figura 5, especialmente a Figura 5(a)) são US\$ 1,092/kWh com as CaC do tipo SOFC e US\$ 0,735/kWh com as CaC do tipo PEMFC. O primeiro é cerca de 49% maior que o segundo e, considerando-se que ambos os casos usam os mesmos parâmetros para os respectivos casos base, essa diferença se deve à influência do investimento fixo, o qual, atualmente, é ainda maior para a tecnologia SOFC, ainda que ela proporcione melhor aproveitamento do rejeito térmico; o que em escalas maiores do que as consideradas neste trabalho, pode ser base para a adoção de sistemas híbridos, conjugando CaC e turbinas.

A partir dos resultados mostrados nas Figuras 5(a) e 5(b) nota-se que, num cenário de pequenas e médias variações dos parâmetros avaliados (até por volta de $\pm 40\%$), o que é mais razoável em curto e médio prazos, a sensibilidade do CoE em relação ao F_{CAP} é, ainda assim, a mais significativa de todas. Em segundo lugar aparece a sensibilidade em relação ao IF normalizado, seguida pelo tamanho do sistema (potência elétrica instalada) e pelo preço do combustível primário. Os valores de CoE, acima considerados para o caso base, podem chegar, nas piores condições avaliadas (excluindo-se a análise do F_{CAP}), a, respectivamente, US\$ 2,051/kWh (SOFC) e US\$ 1,641/kWh (PEMFC), cf. Figura 5(a). Mas, considerando-se o F_{CAP} mínimo, tais valores podem chegar a, respectivamente, US\$ 9,924/kWh e US\$ 6,402/kWh.

Os típicos valores do caso base são por si só da ordem de quatro a nove vezes os valores de CoE para fornecimento residencial de energia elétrica em muitas regiões do Brasil. Os principais resultados considerados neste trabalho indicam que, globalmente, os descontos diretamente sobre o investimento apresentariam um caráter mais efetivo na redução dos CoE e na viabilização econômica dos sistemas GD-CaC-CHP quando comparados às bonificações incidentes sobre o custo da EE gerada. Ainda que, atualmente, em alguns poucos países essas políticas sejam efetivamente empregadas, muitos outros têm avaliado a implementação de normas e legislações para tanto, premidos principalmente pela crescente preocupação com as questões relacionadas à sustentabilidade. Contudo, essa evolução e sua velocidade de disseminação dependem fundamentalmente da receptividade social em relação aos novos processos e sistemas de geração de energia com menores impactos ambientais, o que é algo bastante desigual nos diversos países e regiões do mundo.

Em linhas gerais, os resultados de avaliação econômica apresentados são condizentes com aqueles obtidos na literatura pertinente para sistemas de CaC de pequeno porte (abaixo de 10 kW), que evoluem produção local e armazenamento de hidrogênio. De fato, nos últimos anos os custos dos principais tipos de células a combustível têm sofrido reduções significativas, à medida que estas têm sido produzidas em maior número e têm se tornado mais comum em alguns nichos de mercado. Contudo, para o sistema de cogeração como um todo, essa situação ainda não chegou a uma situação mais estável, principalmente em se tratando de aplicações em pequena e média escalas. Daí a grande importância das políticas de incentivos nessa área, a qual tende a ser cada vez mais importante no futuro próximo e médio.

Além disso, os resultados mostraram que, para as mesmas escalas de potência elétrica instalada, atualmente, os sistemas com CaC do tipo SOFC tendem a resultar em maiores CoE, ainda que estas CaC apresentem maiores eficiências. Tal resultado é certamente um reflexo do atual estágio tecnológico dessas CaC, as quais estão agora alcançando as primeiras aplicações em pequena e média escala, ao passo que as PEMFC já estão mais presentes nesses mercados. Todavia, existem grandes perspectivas de que as SOFC venham a suplantarem as PEMFC nos

mercados de cogeração em virtudes de suas características intrínsecas que podem ser bem aproveitadas (geração em altas temperaturas, aproveitamento do rejeito térmico) (5, 8, 11).

3.0 - CONCLUSÃO

O estudo de avaliação energético-econômica apresentado evidenciou que os sistemas residenciais de cogeração com células a combustível são economicamente caracterizados pelo elevado investimento fixo, o que é típico da geração de energia baseada, principalmente, em novas tecnologias, as quais estão, atualmente, saindo do estágio de demonstração ou pré-comercial. Essa condição de alto investimento fixo se reflete sobre o custo da energia elétrica gerada por tais sistemas. Assim, em relação à sensibilidade econômica do sistema, o próprio investimento fixo e o fator de capacidade (ou, inversamente, a ociosidade do sistema) se destacam como parâmetros que mais influenciam o custo da energia elétrica gerada.

Não obstante essas observações, num cenário de incentivos econômicos para implantação e operação de sistemas de cogeração semelhantes aos aqui considerados, o que tem ocorrido principalmente na América do Norte, na Europa e em parte da Ásia (notadamente no Japão e Coreia do Sul), o custo final da energia elétrica sofre impactos associados a políticas de descontos, subsídios e bonificação que tendem a fomentar e incentivar que tais sistemas de geração (cogeração) entrem em alguns segmentos de mercado, com base principalmente em ganhos acerca da redução de emissões, emprego de recursos renováveis, incrementos em eficiência energética e alavancagem de setores industriais de alta tecnologia.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Eficiência Energética e Geração Distribuída, Nota Técnica DEA 26/14, Rio de Janeiro, 2014.
- (2) OBAMA, B. The irreversible momentum of clean energy. Science, 9 January 2017.
- (3) SILVA, C. H. F. (Coord.), Alternativas Energéticas: Uma Visão Cemig. Belo Horizonte, Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, 2012.
- (4) IPHE - International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy, 2012 Hydrogen and Fuel Cell Global Commercialization & Development Update, 2013.
- (5) CARTER, D., WING, J., Fuel Cell Today Industry Review 2013, Royston, UK, 2013.
- (6) ADAMSON, K-A. The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 4th Energy Wave, 2016.
- (7) CURTIN, S., GANGI, J., The Business Case for Fuel Cells 2013 - Reliability, Resiliency & Savings, Fuel Cells 2000 and U.S. Department of Energy's Fuel Cell Technologies Office, 2013.
- (8) PROTTI-ALVAREZ, F. AFC Energy's fuel-cell technology: A new focus. IHS Chemical Week, 2015.
- (9) FURTADO, J. G. M. Inserção de Células a Combustível na Geração Estacionária de Energia Elétrica no Brasil. Relatório Técnico, Eletrobras Cepel, 2017.
- (10) NISHIZAKI, K., HIRAI, K., Commercialization of a residential PEM Fuel Cell CHP "ENE FARM", 2010.
- (11) Country Update of Japan - Current Status of H2 and Fuel Cell Programs of Japan. IPHE 20th SC, Fukuoka, 2013.
- (12) KASUH, T., Why does Japan believe in domestic fuel cell? Adaptation to European market? European Gas Technology Conference, 2013.
- (13) EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Estudos da demanda de energia - 2050, Nota Técnica DEA 13/14, Rio de Janeiro, 2014.
- (14) The ultimate guide to fuel cells and hydrogen technology. Hydrogen Europe. New Energy World Industry Grouping (NEW-IG), 2015.
- (15) FURTADO, J. G. M., CAVALCANTI, E. S. C., SIQUEIRA, D. A., ORLANDE, H. R. B., SERRA, E. T., Waste heat recovery modelling of a residential-scale stationary fuel system. In: 11th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences ENCIT, 2006.

(16) FURTADO, J. G. M., SILVA Jr, F. R., LOPES, F. C. Análise das Eficiências Energética e Econômica de um Sistema de Geração Distribuída de Energia Elétrica com Células a Combustível. XXIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2015.

(17) LOPES, F. C., WATANABE, E. H., ROLIM, L. G. B. Modelo alternativo de um empilhamento de células a combustível do tipo PEM baseado em rede neural recorrente para aplicações de controle em tempo real. XXII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2013.

(18) COOLEGEM, J. Stationary PEM fuel cells with lifetimes beyond five years. Nedstack fuel cell technology B.V., 2014.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Natalia Emerich Ladeira

Mestrado (2014) em Ciência e Tecnologia de Polímeros: Instituto de Macromoléculas (IMA), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Graduação (2007) em Engenharia Industrial Têxtil: SENAI CETIQT.

Atualmente é doutoranda no IMA/UFRJ e tem experiência na área de nanotecnologia, técnicas de processamento e de caracterização estrutural, mecânica e elétrica de materiais poliméricos e compósitos de matriz polimérica.



José Geraldo de Melo Furtado

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 29 de março de 1969.

Doutorado (2005) e Mestrado (2001) em Ciência e Engenharia de Materiais: COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Graduação (1997) em Engenharia Química: UFRJ.

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

Pesquisador do Departamento de Tecnologias Especiais (DTE), atuando nas áreas de materiais e sistemas energéticos, modelagem e simulação de processos de cogeração, eletroquímica, tecnologias e sistemas de armazenamento de energia, tecnologias do hidrogênio e células a combustível, bioenergia e ciências térmicas.



Francisco da Costa Lopes

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

Doutorado (2013) e Mestrado (2006) em Engenharia Elétrica: COPPE/UFRJ. Graduação (2003) em Engenharia Eletrônica: UFRJ.

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

Pesquisador do Departamento de Tecnologias Especiais (DTE), atuando nas áreas de células a combustível, sistemas de geração distribuída, eletrônica de potência e sistemas de armazenamento de energia.