

## **P226 - Eletricidade por Meio do Gás para Residências e Comércio – Tecnologia (ENE-FARM) - Ciclo 2017/2018**

Marcos Avó<sup>1</sup>, Rodrigo König<sup>1</sup>, Matheus Rubio<sup>1</sup>, Elise Kawabata<sup>1</sup>

1 LUNICA CONSULTORIA

**Resumo** – ENE-FARM é um programa de governo no Japão, que visa estimular soluções de Geração Distribuída baseadas em células combustíveis para o mercado residencial, tendo o Gás Natural como insumo primário. Em função do sucesso desse programa, o equipamento que o representa (micro-CHPs a células combustíveis) passou a ser conhecido pelo mesmo nome (ENE-FARM). Esse equipamento é uma solução de fronteira que inclui o Gás Natural no rol de fontes de energia para soluções de Geração Distribuída para clientes residenciais, campo dominado pela energia solar no Brasil atualmente. Este trabalho visou entender a tecnologia dos micro-CHPs a células combustíveis, seu mercado e, principalmente, avaliar sua viabilidade técnico-financeira para uso no Brasil. Os resultados apontaram para uma potencial aplicação para clientes de alto padrão, não orientados de forma básica para economias financeiras. A justificativa principal desse resultado está relacionada ao alto investimento relacionado à aquisição do equipamento e instalações correspondentes. Tal situação poderá ser atenuada, caso ocorram soluções que reduzam o investimento do cliente e/ou contem com suporte de políticas públicas objetivas do Estado de SP ou do País, orientadas à economia do Hidrogênio, tal qual ocorreu no Japão e no continente europeu, ainda que essas regiões contem com realidades energéticas muito distintas das encontradas no território brasileiro.

Palavras-chave: células combustíveis; Geração Distribuída; clientes residenciais.

### **Introdução**

A Geração Distribuída de energia para clientes residenciais é uma tendência nas discussões de energia no contexto atual, globalmente. Uma das justificativas desse movimento diz respeito à oportunidade de aliviar o sistema elétrico central das nações. No Brasil, tal movimento tem sido muito fortemente fomentado por soluções baseadas na energia solar.

No Japão, emergiram soluções nesse sentido utilizando o Gás Natural como insumo primário. As soluções bem-sucedidas contam com o amparo de políticas públicas que fomentam a adoção, pelo cliente residencial, de equipamentos micro-CHP baseados em tecnologias de células combustíveis, com potências que giram em torno de 700 W e 1kW.

Esses equipamentos visam “zerar” as contas elétricas residenciais e têm no Gás Natural seu principal insumo primário.

Esse movimento gerou, portanto, solução que materializa o Gás Natural como viabilizador

da Geração Distribuída elétrica, junto do atributo fundamental de CHPs, que é também gerar energia térmica, para consumo local.

Ao longo dos anos, tal tecnologia foi exportada para a Europa, por meio de parcerias entre empresas japonesas e europeias, contando também com o suporte de políticas públicas regionais, que incluíram fomento financeiro para a aquisição de equipamentos e visão de longo prazo para o desenvolvimento tecnológico.

Sob o ponto de vista do Estado de SP, trata-se de tecnologia que merece ser estudada, uma vez que pode vir a ser alternativa para incluir o Gás Natural no contexto da Geração Distribuída de energia elétrica na região. O objetivo fundamental deste trabalho foi compreender a tecnologia e avaliar sua viabilidade técnica e financeira para sua implementação em São Paulo e no Brasil.

Este projeto contou com insumos de testes práticos de funcionamento do equipamento fornecidos pela Comgás, com operação

laboratorial liderada pela consultoria técnica InPrediais.

## Desenvolvimento e Resultados

O presente projeto foi dividido em 4 etapas: Entendimento da Tecnologia; Casos Internacionais; Avaliação da Viabilidade Técnico-Financeira a Partir de Referências Teóricas; e Avaliação da Viabilidade Técnico-Financeira a Partir de Experimentos Práticos. Tais etapas são apresentadas resumidamente a seguir:

### A. Entendimento da Tecnologia.

Um dos conteúdos fundamentais deste trabalho foi a compreensão estruturada sobre a tecnologia de células combustíveis aplicada a CHPs.

As vantagens potenciais das células combustíveis aplicadas em CHPs – poucas emissões, pouco barulho, alta eficiência, design modular – foram claramente mapeadas, conforme ilustra o quadro a seguir:

	Vantagens	Desvantagens
<b>Spark ignition Reciprocating engine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High power efficiency with part-load operational flexibility.</li> <li>Fast start-up. Relatively low investment cost.</li> <li>Has good load following capability.</li> <li>Can be overtested on site with normal operators.</li> <li>Operate on low-pressure gas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High maintenance costs.</li> <li>Limited to lower temperature cogeneration applications.</li> <li>Relatively high air emissions.</li> <li>Must be cooled even if recovered heat is not used.</li> <li>High levels of low frequency noise.</li> </ul>
<b>Compression ignition (CI) Reciprocating engine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High overall efficiency – steam to power.</li> <li>Can be mated to boilers firing a variety of gaseous, liquid or solid fuels.</li> <li>Ability to meet more than one site heat grade requirement.</li> <li>Long working life and high reliability.</li> <li>Power to heat ratio can be varied.</li> <li>High reliability.</li> <li>Low emissions.</li> <li>High grade heat available.</li> <li>No cooling required.</li> <li>Small number of moving parts.</li> <li>Compact size and light weight</li> <li>Low emissions.</li> <li>No cooling required</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slow start-up.</li> <li>Very low power to heat ratio.</li> <li>Requires a boiler or other steam source.</li> <li>Require high pressure gas or in-house gas compressor.</li> <li>Poor efficiency at low loading.</li> <li>Output falls as ambient temperature rises.</li> <li>High costs.</li> <li>Relatively low mechanical efficiency.</li> <li>Limited to lower temperature cogeneration applications.</li> <li>High costs.</li> <li>Fuels require processing unless pure hydrogen is used.</li> <li>Sensitive to fuel impurities</li> <li>Low power density.</li> </ul>
<b>Steam Turbine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High overall efficiency – steam to power.</li> <li>Can be mated to boilers firing a variety of gaseous, liquid or solid fuels.</li> <li>Ability to meet more than one site heat grade requirement.</li> <li>Long working life and high reliability.</li> <li>Power to heat ratio can be varied.</li> <li>High reliability.</li> <li>Low emissions.</li> <li>High grade heat available.</li> <li>No cooling required.</li> <li>Small number of moving parts.</li> <li>Compact size and light weight</li> <li>Low emissions.</li> <li>No cooling required</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slow start-up.</li> <li>Very low power to heat ratio.</li> <li>Requires a boiler or other steam source.</li> <li>Require high pressure gas or in-house gas compressor.</li> <li>Poor efficiency at low loading.</li> <li>Output falls as ambient temperature rises.</li> <li>High costs.</li> <li>Relatively low mechanical efficiency.</li> <li>Limited to lower temperature cogeneration applications.</li> <li>High costs.</li> <li>Fuels require processing unless pure hydrogen is used.</li> <li>Sensitive to fuel impurities</li> <li>Low power density.</li> </ul>
<b>Gas Turbine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High overall efficiency – steam to power.</li> <li>Can be mated to boilers firing a variety of gaseous, liquid or solid fuels.</li> <li>Ability to meet more than one site heat grade requirement.</li> <li>Long working life and high reliability.</li> <li>Power to heat ratio can be varied.</li> <li>High reliability.</li> <li>Low emissions.</li> <li>High grade heat available.</li> <li>No cooling required.</li> <li>Small number of moving parts.</li> <li>Compact size and light weight</li> <li>Low emissions.</li> <li>No cooling required</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slow start-up.</li> <li>Very low power to heat ratio.</li> <li>Requires a boiler or other steam source.</li> <li>Require high pressure gas or in-house gas compressor.</li> <li>Poor efficiency at low loading.</li> <li>Output falls as ambient temperature rises.</li> <li>High costs.</li> <li>Relatively low mechanical efficiency.</li> <li>Limited to lower temperature cogeneration applications.</li> <li>High costs.</li> <li>Fuels require processing unless pure hydrogen is used.</li> <li>Sensitive to fuel impurities</li> <li>Low power density.</li> </ul>
<b>Microturbine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High overall efficiency – steam to power.</li> <li>Can be mated to boilers firing a variety of gaseous, liquid or solid fuels.</li> <li>Ability to meet more than one site heat grade requirement.</li> <li>Long working life and high reliability.</li> <li>Power to heat ratio can be varied.</li> <li>High reliability.</li> <li>Low emissions.</li> <li>High grade heat available.</li> <li>No cooling required.</li> <li>Small number of moving parts.</li> <li>Compact size and light weight</li> <li>Low emissions.</li> <li>No cooling required</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slow start-up.</li> <li>Very low power to heat ratio.</li> <li>Requires a boiler or other steam source.</li> <li>Require high pressure gas or in-house gas compressor.</li> <li>Poor efficiency at low loading.</li> <li>Output falls as ambient temperature rises.</li> <li>High costs.</li> <li>Relatively low mechanical efficiency.</li> <li>Limited to lower temperature cogeneration applications.</li> <li>High costs.</li> <li>Fuels require processing unless pure hydrogen is used.</li> <li>Sensitive to fuel impurities</li> <li>Low power density.</li> </ul>
<b>Fuel cells</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low emissions and low noise.</li> <li>High efficiency over loadrange.</li> <li>Modular design.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slow start-up.</li> <li>Very low power to heat ratio.</li> <li>Requires a boiler or other steam source.</li> <li>Require high pressure gas or in-house gas compressor.</li> <li>Poor efficiency at low loading.</li> <li>Output falls as ambient temperature rises.</li> <li>High costs.</li> <li>Relatively low mechanical efficiency.</li> <li>Limited to lower temperature cogeneration applications.</li> <li>High costs.</li> <li>Fuels require processing unless pure hydrogen is used.</li> <li>Sensitive to fuel impurities</li> <li>Low power density.</li> </ul>

A desvantagem das células combustíveis, no estágio atual da tecnologia, basicamente é o seu ainda alto custo, que tende a reduções ao longo do tempo (conforme discutido neste trabalho). Os diferentes tipos de células também foram mapeados e comparados, havendo destaque para os tipos PEMFC (membrana polimérica) e SOFC (óxido sólido).

Dados do mercado mundial de células combustíveis e suas aplicações foram discutidos neste trabalho, sendo disponibilizados números em termos de equipamentos instalados no mundo, potência instalada, entre outros. Os dados históricos são apoio para a discussão de tendências.

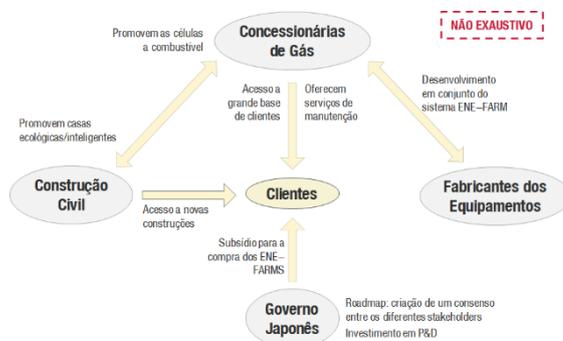
Por fim, foram mapeados fabricantes e equipamentos, com base nas tecnologias das células e potências correspondentes:



### B. Casos Internacionais:

Os casos japonês e o europeu foram analisados neste trabalho, visando compreender a origem da tecnologia e seu desenvolvimento.

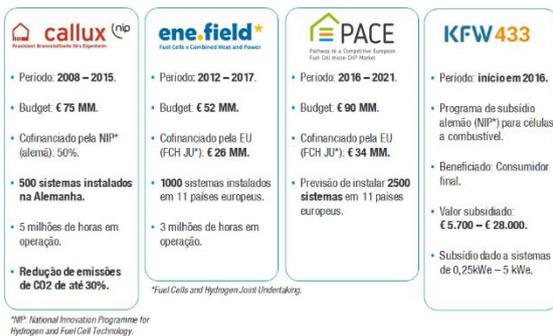
Em particular, o Japão trouxe não apenas um entendimento da visão de longo prazo de desenvolvimento tecnológico, mas também toda a lógica, na colaboração entre ambientes público e privado para que a tecnologia chegasse efetivamente ao usuário final. A figura a seguir ilustra a integração de stakeholders:



Um dos resultados importantes da política pública em torno do “ENE-FARM” é a redução do preço do equipamento ao longo do tempo, em paralelo aos subsídios governamentais para a respectiva aquisição por parte do usuário final.

O caso europeu é decorrente da lógica de exportação da tecnologia do ENE-FARM por parte do Japão. Nasceu da parceria de empresas japonesas e europeias (Bosch e Viessmann), sob o amparo do governo japonês.

Assim como no Japão, a Europa desenvolveu diferentes programas para apoiar a difusão da tecnologia no território europeu:



### C. Avaliação da Viabilidade Técnico-Financeira a Partir de Referências Teóricas.

Aqui, foi desenvolvida extensa revisão da literatura técnica, visando a captura de inputs para a modelagem financeira do equipamento para a realidade brasileira.

Visou-se construir fluxos de caixa e estimativas de ganhos anuais em custos operacionais dos usuários finais e confrontá-los com investimentos realizados por estes, viabilizando o cálculo de payback.

Os resultados podem ser analisados com maior profundidade por meio do relatório do projeto, mas é possível indicar as principais conclusões desta seção: (a) com base nos inputs teóricos e dados da realidade brasileira, o micro CHP a células combustíveis é capaz de gerar ganhos financeiros para o usuário final; (b) ainda assim, o investimento é de difícil compensação financeira para o usuário, uma vez que seu valor tende a ser muito alto para o consumidor brasileiro; (c) para a concessionária, o equipamento representa venda potencial de volumes adicionais.

### D. Avaliação da Viabilidade Técnico-Financeira a Partir de Experimentos Práticos.

Nesta seção, além das referências teóricas da seção anterior, a análise de viabilidade também apoiou-se em alguns inputs derivados de testes laboratoriais práticos, realizados pela Comgás, com apoio da empresa InPrediais.

Os inputs considerados aqui foram: (1) nova eficiência do aquecedor de passagem embutido no equipamento; (2) níveis consumo térmico mais ajustados à realidade brasileira, a partir de dados concretos de mercado; (3) tarifas de eletricidade e gás natural atualizadas para março/2021.

Os resultados apontaram para melhoria de desempenho de ganhos anuais. No entanto,

essa melhoria não é derivada de diferenças dos inputs técnicos, mas sim dos dados ajustados do consumo térmico e das tarifas. A partir desses nos inputs, pode-se dizer que paybacks a partir de 5-6 anos, passam a ser visualizados (ainda que com algum desafio nesse patamar mais baixo).

## Conclusões e Contribuições

As seguintes conclusões principais foram construídas:

- CAPEX (custo do equipamento + instalação) e valores das tarifas elétrica e de Gás Natural são os fatores mais relevantes para a obtenção da viabilidade;
- A obtenção de um Payback menor que 6 anos parece ser bastante desafiadora, mas as simulações com dados de tarifa atualizados sinalizam a possibilidade de que isso se torne mais fácil de ser atingido, caso haja alguma solução para o investimento do cliente;
- O apelo de eficiência e economia para entrada desse equipamento no Brasil para clientes residenciais individuais, no curto prazo, tende a não ser significativo. O equipamento pode ser uma alternativa de conforto e proteção a apagões para clientes de nichos específicos (alto padrão);
- Existem indícios de uma redução no custo da tecnologia de célula a combustível e de micro CHPs ao longo dos próximos anos, com a produção em escala e avanços de desenvolvimento;
- Entendemos que seja de alta pertinência que a Comgás, sendo a maior distribuidora de GN da América Latina, conecte-se e participe do contexto de inovações mundiais em torno do Gás Natural.

## Principais Referências

SORACE, M., GANDIGLIO, M., SANTARELLI, M., *Modeling and techno-economic analysis of the integration of a FC-based micro-CHP system for residential application with a heat pump*, Energy, Volume 120, 2017, p. 262-275.

BERGER, R., Strategy Consultants, *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)*, 2018.

Scatagli, R. et al., *A Total Cost of Ownership Model for Solid Oxide Fuel Cells in Combined Heat and Power and Power Only Applications*, US Department of Energy, 2015