

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE CÉLULA A COMBUSTÍVEL DO TIPO PEM EM ESCALA INDUSTRIAL

Kellen Roberta de Souza⁽¹⁾

Engenheira Química pela UNIMEP, Especialista em Gestão Ambiental pela UFSCar, Mestre em Engenharia e Tecnologia Ambiental pela Universidad León. Atua como Supervisora de HSEQ na Eka Chemicals do Brasil S.A (grupo Akzo Nobel).

Dayse Caldas de Azevedo

Engenheira Química pela Universidade Federal de Alagoas, Mestre em Química e Biotecnologia pela Universidade Federal de Alagoas e Doutora em Química pela Universidade de São Paulo. Atualmente cursa MBA em gerenciamento de projetos pela Fundação Getúlio Vargas.

Endereço⁽¹⁾: Rua Itália Burato, nº 220, Barão Geraldo, Campinas/São Paulo, CEP 13.082-680. Fone: (xx) 9217-1013 e-mail: kellensouza@yahoo.com.br.

RESUMO

O objetivo principal deste projeto foi avaliar a viabilidade da produção de eletricidade com o hidrogênio co-gerado no processo eletrolítico para a produção clorato de sódio. Se reaproveitado no processo produtivo, esta energia reduz o consumo de eletricidade a partir da fonte principal, otimizando a eficiência energética da planta e reduzindo custos. Neste contexto particular, as células a combustível do tipo PEM representam um dispositivo de produção de energia válido, uma vez que pode ser alimentado a partir do hidrogênio já disponível na fábrica e com o ar ambiente. As células a combustível convertem a energia química da reação $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ diretamente em energia elétrica, evitando assim as limitações termodinâmicas, e apresentam rendimentos de até 83%. A eletricidade produzida, em corrente contínua, pode ser diretamente reintroduzida ao sistema de eletrólise ou convertida em corrente alternada e utilizada em sistemas auxiliares. Além disso, a reação química entre o hidrogênio e o oxigênio não gera subprodutos de combustão, havendo apenas produção de água e calor, que também podem ser reaproveitados, o que representam aspectos ambientais com impactos positivos ao meio ambiente. Além disso, o projeto prevê a instalação das células a combustível em áreas já classificadas pelo uso de hidrogênio, aumentando assim a segurança operacional e garantindo a compatibilidade do dispositivo com os equipamentos já existentes.

PALAVRAS-CHAVE: célula a combustível, energia elétrica, hidrogênio.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, temos observado grandes e freqüentes mudanças nos hábitos de vida, tecnologias, alimentação, trabalho e, por conseqüência, vemos surgindo também novos paradigmas e instabilidades políticas, sociais e econômicas em quase todo o planeta, cujos impactos são generalizados.

Historicamente os países que souberam utilizar suas fontes energéticas tornaram-se grandes potências, como, por exemplo, a Inglaterra do século XVIII, cujo desenvolvimento foi baseado no carvão, impulsionando a Primeira Revolução Industrial, e também os Estados Unidos da América (EUA) do final do século XX que, com a descoberta do petróleo, tornou-se a maior potência do planeta.

O petróleo ainda é a fonte energética mais utilizada no mundo, cerca de 34,4%, seguido pelo carvão mineral (26%), gás natural (20,5%), biomassa (10,7%), nuclear (6,2%) e hidráulica e eletricidade (2,2%). Em todo o mundo, apenas 12,9% da energia primária vêm de fontes renováveis¹.

Estima-se hoje que 41% do consumo energético estejam alocados no setor industrial, seguidos de 28% para os transportes, 11% residencial, e o restante dividido entre os setores público, agropecuário e comercial².

No entanto, uma nova economia de energia está surgindo, baseada nos limites que a natureza impõe à utilização dos recursos fósseis, seja pela sua reserva ou pela poluição, estabelecendo a necessidade de se produzir energia mais limpa e de forma eficiente. Com isto, os investimentos em energia renovável vêm aumentando. Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE) (1998), por volta de 2035, os países da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) alocará 30% dos seus investimentos totais para a geração de energia nova¹. Alguns países, estados e municípios já têm leis que obrigam as empresas públicas a comprar uma parte da energia de fontes renováveis ou então oferecer vantagens financeiras a produtores de energia renovável.

A eficiência dos equipamentos que produzem energia, bem como a utilização de outras fontes que não seja o petróleo, dará a este último uma sobrevida maior, tanto no que diz respeito à quantidade disponível de reservas, como em relação a estabilidade do preço, retardando a tendência de aumento à medida que essa fonte fóssil se torne cada vez mais escassa.

As maiores jazidas de petróleo do mundo estão no Oriente Médio⁸⁸, região de constantes conflitos e instabilidades política, religiosa e econômica, refletindo muitas vezes no fornecimento do produto, tornando a economia mundial instável.

As principais vantagens do petróleo e carvão durante os períodos em que foram dominantes foram a abundância e o baixo custo. Atualmente, além do impacto ambiental, o preço tem aumentando constantemente e estima-se que as reservas de petróleo estarão extintas até 2050³.

Embora não tenha sido descoberta nenhuma nova fonte abundante de energia, estão surgindo diversas melhorias tecnológicas, na utilização das fontes energéticas, ou seja, a Nova Era da Energia terá diversas fontes principais de energia e equipamentos para sua geração.

Diversos estudos na área de energia alternativa têm sido desenvolvidos através de parcerias entre centros de pesquisas, universidades e empresas públicas e privadas, sendo um dos grandes enfoques o estudo das células a combustível.

As células a combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem diretamente a energia química dos reagentes em energia elétrica, calor e água, não apresentando a combustão como passo intermediário. Nelas o hidrogênio – matéria prima abundante que constitui cerca de 90% dos átomos do universo - é empregado como combustível⁴, uma fonte de energia não poluente, podendo ainda ser produzido a partir do gás natural, eletrólise da água, eventualmente da hidro-energia, água salobra, do álcool fermentado ou outros tipos de energia regenerativa.

As células a combustível podem ser classificadas em cinco tipos principais, dependendo do tipo de eletrólito: Células a Combustível Alcalinas (Alkaline Fuel Cell - AFC), Ácido Fosfórico (Phosphoric Acid Fuel Cell - PAFC), Carbonato Fundido (Molten Carbonate Fuel Cell - MCFC), Óxido Sólido (Solid Oxide Fuel Cell - SOFC) e Membrana Trocadora de Prótons (Próton Exchange Membrane Fuel Cell - PEMFC).

Os princípios de uma célula a combustível foram identificados inicialmente em 1839, pelo inglês William Grove, no entanto a compreensão de seu funcionamento é relativamente recente, bem como a implementação de novos componentes, tais como eletrodos, eletrólitos e catalisadores a fim de aprimorar seu rendimento.

A tecnologia das células a combustível ainda está em desenvolvimento, mas não apenas em laboratórios, ou seja, esses dispositivos já são utilizados em diversos países, tais como Canadá, Alemanha, Espanha, China, Austrália, Estados Unidos, entre outros, inclusive no Brasil, fornecendo energia limpa e eficiente em automóveis, fazendas, hospitais, shoppings e indústrias.

De acordo com o Departamento de Energia dos EUA (2003), se seu país tivesse em 10% de sua frota, veículos movidos por células a combustível, a economia em petróleo seria de 800.000 barris por dia, o que equivaleria a 13% de suas importações deste produto em 2003⁶.

O hidrogênio, o mais comum elemento do universo, é apontado como o centro da economia mundial até 2040, devendo movimentar aproximadamente 1,7 trilhões de dólares já em 2020⁷.

“Hydrogen road” estão sendo projetadas em vários países, bem como a formação de uma organização internacional, a “International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE)”. Esta parceria está unindo os maiores consumidores de energia do mundo, incluindo o Brasil, para trabalharem juntos na criação da Nova Era da Energia baseada no hidrogênio, nas energias renováveis e nas células a combustível.

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo e, atualmente, mais de 45% da energia consumida no país vem de fontes renováveis, contra 13% nos países desenvolvidos⁸. O Brasil possui as grandes fontes limpas de hidrogênio, além da viabilidade de sua obtenção através do agro negócio. Podemos citar ainda, as grandes hidroelétricas que são capazes de produzir hidrogênio em épocas de excesso de oferta de água.

O Brasil possui grandes reservas de gás natural e abundância de água do mar, ambas fontes potenciais de hidrogênio, além do vento e da energia solar, fontes renováveis de energia. Por estas razões acredita-se que o Brasil seja a maior potência mundial desta Nova Era da Energia, desde que associada a disponibilidade energética com desenvolvimento.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade técnico-econômica do processo de co-geração de energia elétrica em uma planta industrial produtora de clorato de sódio.

Para isto, serão utilizados dados da literatura sobre células a combustível do tipo PEMFC, alimentadas com hidrogênio proveniente do processo de produção de clorato de sódio através de eletrólise. Serão avaliados o custo de investimento para instalação e manutenção da célula, a influência da composição do gás sobre o desempenho e longevidade da célula, estratégias de operação (integração) e retorno esperado com a implantação do sistema

TEXTO

METODOLOGIA UTILIZADA

Plantas químicas, com processos eletrolíticos, são fontes industriais de H₂ puro, condição favorável para sua utilização em células a combustível. De acordo com a proposta, a célula a combustível utilizaria ar como oxidante e o H₂, gerado como subproduto da obtenção de clorato de sódio nas células eletrolíticas, como redutor.

O ar para alimentação da célula poderá ser coletado do ambiente ou poderá ser viabilizado ar de instrumento. Os cenários contemplarão o uso da energia da célula diretamente na eletrólise ou em sistemas auxiliares na área industrial ou administrativa.

AQUISIÇÃO DE DADOS

Análises químicas (cromatografia gasosa acoplada a um detector de condutividade térmica) foram realizadas para determinar os contaminantes presentes no H₂ em estudo, além de dados de produção e processo da planta química.

INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise da viabilidade econômica utilizou-se os critérios: ROI (Return of Investments), TIR (Taxa Interna de Rentabilidade) e o VPL (Valor Presente Líquido).

RESULTADOS OBTIDOS

Hidrogênio

A Tabela 1 mostra os dados da qualidade do H₂ proposto para utilização na CC:

Cl ₂	CH ₄	CO + CO ₂	N ₂	O ₂	Umidade
< 0,01 ppm	< 1 ppm	< 20 ppm	600 ppm	2,7 %	Saturado (4% v ou 22% m)

Tabela 1: Qualidade do hidrogênio

Cl₂: Embora uma concentração baixa, durante o tempo de vida da célula deve ser avaliada uma potencial corrosão provocada pelo cloro em seus componentes, especialmente pelas condições de operação da célula: 60<T°C<80 e 100% de umidade relativa.

CH₄: relativamente inerte.

CO₂: relativamente inerte.

CO: nos valores de potencial em que o ânodo opera em uma célula a combustível o CO se comporta como um adsorbato inerte sobre a Pt..

N₂: relativamente inerte.

O₂: provoca a formação de potencial misto e uma perda de desempenho..

Os componentes apontados como “relativamente inertes” apresentam um efeito adverso de diluição do hidrogênio.

Oxigênio

Ar de instrumento

A qualidade do ar na saída do compressor foi enquadrada na categoria “Classe 0” em termos de conteúdo total de óleo, como definido na norma ISO8573-1:2001 Parte 1

Ar atmosférico

A Tabela 2 apresenta as concentrações dos poluentes monitorados entre 2006/2007.

Poluente	N° dias	Média período (µg/m ³)	Máximas 1 hora	
			1° máxima (µg/m ³)	2° máxima (µg/m ³)
CO	331	-	5,5	4,4
(NO ₂)	277	32	149	147

Tabela 2: Resultados do monitoramento da qualidade do ar em Jundiaí/SP

CO: relativamente inerte

NO₂: inerte

AVALIAÇÃO OPERACIONAL

Potencial elétrico teórico de uma célula a combustível: É a quantidade máxima de energia térmica que pode ser extraída do H₂ e usada na alimentação de uma célula a combustível.

Efeito da Temperatura e Pressão: O potencial elétrico de uma célula a combustível está totalmente ligado à temperatura e a pressão as quais ela esta submetida.

Eficiência teórica das células a combustível: É definida como sendo a relação entre a entrada e saída de energia no sistema (83%).

DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA VIÁVEL – ESTIMATIVA TEÓRICA

De acordo com a estequiometria da reação de produção do NaClO₃ é possível a produção de 56,33 kg H₂/ton NaClO₃. Portanto a produção de 75600 ton NaClO₃/ano gera 4259 ton H₂/ano. O volume disponível (0,022402 Nm³ ou 5.445 Nm³/h) foi obtido através da equação de Clapeyron para gases perfeitos.

Um fator de cálculo disponibilizado pela Novocell foi utilizado para determinar a potência gerada através da utilização da PEMFC, sendo estimada em 6,259 MWh. Considerando-se, porém o rendimento máximo do sistema, tem-se que P= 5,195 MWh.

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

A figura 1 demonstra o fluxo de reaproveitamento da energia proposto.

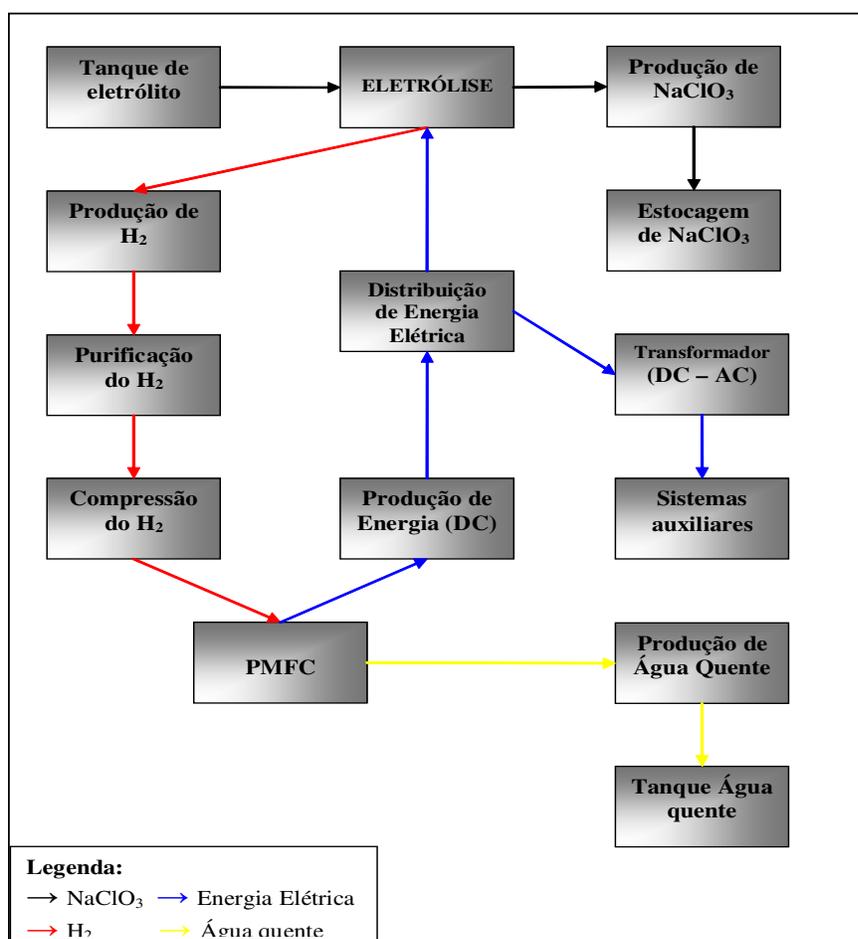


Figura 1 – Proposta de configuração do sistema (PEMFC – Processo Industrial)

ANÁLISE ECONÔMICA

Comercialização do Hidrogênio X Geração de Energia a Partir do Hidrogênio

O custo da energia foi obtido através de relatório de fornecimento da ANEEL.

R\$ 237,06/MWh . 5,195 MWh = R\$ 1.231,43/h
Potencial anual = R\$ 10.787.457,81

Custo da Implementação, Operação e Manutenção

Custo Implementação = R\$ 20.600.000,00
Custo Operação e manutenção = 0,01 U\$/KWh, ou seja, R\$ 0,018/KWh
= 5.195 KWh . 24 h .365 dias = 45.505.179 KW
= 45.505.179 KW . R\$ 0,018 KW = R\$ 819.147,60
Custo TOTAL = R\$ 21.419.147,60

Avaliação dos indicadores de viabilidade

ROI = Investimento Total / Lucro Líquido
R\$ 21.419.147,60/ R\$ 10.787.457,81
ROI = 1,99

O produto da divisão demonstra que o retorno do investimento se daria em um período de aproximadamente dois anos.

TIR (Taxa Interna de Rentabilidade): A TIR de 49,97% é a taxa de desconto que torna o VPL deste investimento nulo, podendo ser interpretada como o retorno esperado deste investimento.

VPL (Valor Presente Líquido)

	Taxas de Desconto	VPL do Projeto
Mínimo	10% ao Ano	R\$ 52.083.265,47
Máximo	12% ao Ano	R\$ 45.402.403,02

*Investimento: R\$21.419.147,60

CONCLUSÕES

A valorização energética do hidrogênio é compreendida como extremamente positiva, pois reflete os benefícios ambientais de sua utilização em relação às fontes de energia não renováveis. O ambiente industrial se ajusta muito bem à necessidade da curva de aprendizado para o desenvolvimento do projeto, e a nova tecnologia sendo gradativamente implementada não deve impactar a rotina normal de produção; não havendo necessidade de novas regulações, padrões, nem permissões especiais, uma vez que o H₂ já faz parte do processo.

Os resultados apontam que o hidrogênio gerado como subproduto no processo de produção de NaClO₃ apresenta característica quali e quantitativas adequadas para uso em células a combustível do tipo PEM. Análises químicas para o monitoramento da qualidade do gás são essenciais para a avaliação da performance do sistema e vida útil dos componentes.

A análise do VPL indica a viabilidade de implementação do sistema, no entanto, para verificar a robustez da viabilidade econômica do projeto através dos valores obtidos no VPL, devem ser realizadas análises de sensibilidade para variações nas referidas taxas, nos custos operacionais e no preço da energia gerada pela célula a combustível. A durabilidade dos stacks é de 40.000 horas, portanto o prazo máximo para que haja um retorno do investimento pode ser considerado com 5 anos, sendo assim, o sistema apresenta-se dentro das condições esperadas, haja vista ROI igual a 1,99.

Deve ser considerado, no entanto, que as plantas eletroquímicas são grandes clientes das empresas fornecedoras de energia elétrica, o que implica na obtenção de menor preço dentro do mercado e de um código mútuo de sigilo total acerca do preço acordado. Os dados de consumo de energia do processo não foram disponibilizados, portanto não foi possível estabelecer a relação entre o grau de recuperação atingível, mas é oportuno ressaltar que estudos indicam que os sistemas de célula a combustível podem permitir a recuperação de até 20% da energia para uso na eletrólise em plantas eletroquímicas.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NETO, E.H.G. A era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustíveis. Hidrogênio, Evoluir Sem Poluir. 1ª ed. Ed. Brasil H2 Fuel Cell Energy. Curitiba, 2005.
2. SAVOIA, R., CARVALHO, M.L.M. Células Combustíveis Estacionárias tipo PEM e DFC, comparação de seus diversos usos e aplicações. Apresentação de Pós Graduação em Energia. Instituto de Engenharia Elétrica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
3. AMRAM, Martha; KULATILAKA, Nalin. Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World. Boston; Mass.: Harward Business School Press; 1999.
4. KREUTZ, T.G.; OGDEN, J.M.. Assesment of Hydrogen Fueled Proton Exchange Membrane Fuel Cells for Distributed Generation and Cogeneration Proceedings of the 2000 U.S. DOE Hydrogen Program Review; U.S. Department of Energy; 2000.