

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UMA CÉLULA-COMBUSTÍVEL TIPO “PEM” DE 15 W

Paulo Sergio Steidel

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica
Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos - LabCET
88040-900 – Campus Universitário – Florianópolis – SC – Brasil
steidel@cet.ufsc.br

Daniel Schmidt Heusi

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica
Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos - LabCET
88040-900 – Campus Universitário – Florianópolis – SC – Brasil
heusi@cet.ufsc.br

Edson Bazzo

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica
Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos - LabCET
88040-900 – Campus Universitário – Florianópolis – SC – Brasil
ebazzo@emc.ufsc.br

Resumo. O presente trabalho consiste no estudo experimental de uma Célula-Combustível tipo Membrana de Troca de Prótons – PEMFC – de 15 W, em operação no Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos da UFSC, utilizando hidrogênio como combustível. Uma bancada experimental foi especialmente montada para testes de desempenho em diferentes cenários, variando-se a vazão de combustível e as temperaturas de operação e de umidificação da célula-combustível. Neste estudo são mostradas as curvas de polarização referentes as condições de operação testadas, além de comentários conclusivos relativos ao desempenho da célula-combustível. Resultados obtidos mostram que o desempenho da célula-combustível é fortemente influenciado pelas suas condições de operação e que sua umidificação é essencial para que sua estabilidade seja mantida.

Palavras chave: Célula-Combustível, PEMFC, Hidrogênio, Curvas de Polarização.

1. Introdução

O iminente esgotamento das reservas naturais de combustíveis fósseis e a necessidade premente de ampliação do parque termoeletrico brasileiro têm motivado a busca permanente de novas tecnologias que efetivamente correspondam ao uso racional das fontes de energia.

No Brasil em particular, apesar do grande potencial hidroelétrico, favorável do ponto de vista econômico e ambiental, problemas de racionamento vêm ocorrendo nos grandes centros, devido principalmente à falta de uma política energética governamental adequada. Praticamente 87% da energia elétrica é gerada por centrais hidroelétricas. Se por um lado, a utilização de recursos renováveis é vantajosa do ponto de vista econômico e ambiental, por outro lado deixa o setor elétrico vulnerável nos períodos de estiagem. Além disso, a situação se agrava devido à baixa capacidade do sistema de transmissão, pois a eletricidade disponível em regiões de maior oferta, não pode ser suficientemente transmitida para regiões mais críticas.

Na expectativa de conferir segurança e disponibilidade de energia elétrica de qualidade, novas medidas vêm sendo tomadas no sentido de diversificar o parque gerador atual, introduzindo novas centrais termoeletricas e sistemas de geração distribuída e de cogeração. Geração distribuída de energia elétrica é a geração próxima ao local de consumo, sendo geralmente realizada pelo próprio consumidor. Cogeração consiste na geração simultânea de energia térmica e eletromecânica a partir de uma mesma fonte primária, sendo que este tipo de sistema normalmente é classificado como de geração distribuída, já que também é realizado pelo próprio consumidor. Plantas de geração distribuída e de cogeração geralmente dispensam o uso das linhas de transmissão e de distribuição, o que contribui para aliviar a carga do sistema interligado.

Uma das barreiras para a implementação da geração termoeletrica é a pressão que alguns setores da sociedade exercem, no que diz respeito aos impactos ambientais provocados pela emissão de gases poluentes advindos principalmente da queima de combustíveis fósseis por parte dessas usinas.

Células-combustível se apresentam como uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ambiental, pois apresentam alta eficiência na conversão da energia química do combustível em energia elétrica, e, dependendo da sua temperatura de operação, podem permitir o uso do calor residual da reação de oxidação para fins de cogeração. Além disso, células-combustível são compactas, silenciosas, menos poluentes que os sistemas de geração convencionais e podem garantir operação contínua, gerando energia elétrica de qualidade (Ghenciu, 2002). As células-combustível constituem-se basicamente de uma matriz eletrolítica que conduz íons entre dois eletrodos. O combustível (hidrogênio) é introduzido no ânodo, enquanto que o agente oxidante (oxigênio) é introduzido no cátodo. O eletrólito (membrana), através da ionização, possibilita a migração de íons H^+ do ânodo para o cátodo, sendo a carga elétrica (corrente contínua), gerada entre os dois eletrodos através de um circuito externo. Na Figura 1 é mostrado o esquema básico de funcionamento de uma célula-combustível do tipo PEMFC.

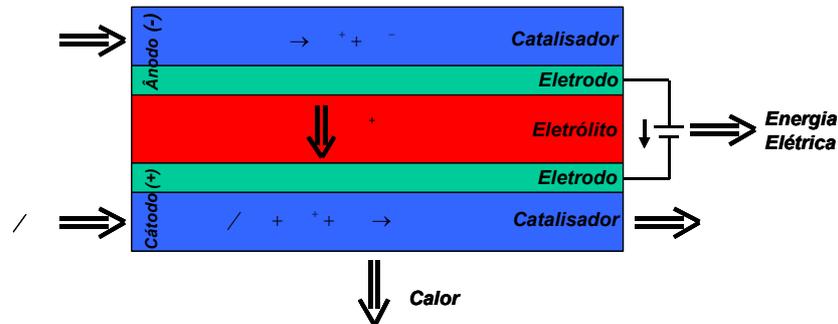


Figura 1. Esquema de funcionamento de uma célula-combustível tipo PEMFC.

No ânodo, o hidrogênio é dissociado pela ação de catalisadores, liberando elétrons para o circuito externo e formando os íons H^+ , de acordo com a reação [1]. Os íons H^+ migram através do eletrólito para o cátodo. No cátodo, o oxigênio admitido reage, também por ação catalítica, com os íons H^+ e com os elétrons provenientes do circuito externo, formando vapor d'água, de acordo com a reação [2].



Diversos tipos de células-combustível estão em desenvolvimento e algumas já estão em operação comercial. Basicamente elas são diferenciadas pelo tipo de eletrólito que utilizam. De acordo com o Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio – CENEH, os principais tipos são: PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell ou Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (Célula-Combustível de Membrana de Troca de Prótons), PAFC - Phosphoric Acid Fuel Cell (Célula-Combustível de Ácido fosfórico), AFC - Alkaline Fuel Cell (Célula-Combustível Alcalina), SOFC - Solid Oxide Fuel Cell (Célula-Combustível de Óxido Sólido), MCFC - Molten Carbonate Fuel Cell (Célula-Combustível de Carbonato Fundido) e DMFC - Direct Methanol Fuel Cell (Célula-Combustível de Metanol Direto).

As células do tipo PEMFC são geralmente chamadas de células PEM, sendo indicadas para aplicação em automóveis, sistemas portáteis de geração (laptops, celulares, etc) e sistemas de geração distribuída de energia (Wang, 2003). Apresentam baixa temperatura de operação (em torno de 80 °C), tamanho compacto, baixo peso, partida rápida, longa vida útil dos stacks e capacidade de trabalhar em regime descontínuo e com altas densidades de corrente (Ghenciu, 2002). Além disso, podem ser aplicadas em sistemas de cogeração para produção de água quente (Okada et al, 2001).

As células-combustível PEM utilizam hidrogênio como combustível, o qual não se encontra disponível na natureza, além de ser de difícil armazenagem. Existem diversas formas de obtê-lo, sendo as mais conhecidas, a hidrólise da água e a reforma de combustíveis industriais. A hidrólise da água é inviável para a maioria das aplicações práticas devido aos altos custos associados, sendo a reforma de combustíveis industriais a forma mais apropriada de obtenção do hidrogênio, já que estes combustíveis se encontram disponíveis a preços competitivos. O gás natural, a gasolina, o etanol e o carvão gaseificado são exemplos de combustíveis utilizados em reformadores. Reforma com vapor d'água, reforma auto-térmica e oxidação parcial são os processos geralmente empregados, mas que além de hidrogênio produzem também CO e CO₂ (Ming et al, 2002). No caso das células-combustível tipo PEM, o CO presente no gás reformado pode ser adsorvido na superfície dos catalisadores, prejudicando a reação de oxidação do hidrogênio, o que diminui a eficiência da mesma (Qi et al, 2002). Dessa forma, quando se utiliza gás reformado é necessária uma análise criteriosa do mesmo, de modo a garantir que a quantidade de CO presente seja menor que 10 ppm, para evitar o envenenamento da célula-combustível.

Diversos parâmetros de operação influenciam no desempenho de uma célula-combustível tipo PEM, sendo os principais, sua temperatura de operação, a temperatura de umidificação do hidrogênio e do oxigênio, além das vazões e pressões desses gases.

A umidificação da célula PEM é de fundamental importância, já que a hidratação do conjunto membrana-eletrólitos (MEA) é crítico para manter a condutividade de prótons da membrana, a estabilidade mecânica e a performance do conjunto (Atkins et al, 2003). Quando a umidificação é feita por borbulhamento dos gases em recipientes com água destilada, o fator de maior influência sobre a umidificação é a temperatura na qual esta é feita, de forma que quanto maior seu valor, melhor a taxa de umidificação.

A temperatura de operação da célula-combustível tipo PEM também tem grande influência sobre o seu desempenho. Até o limite de operação imposto pelo fabricante, geralmente quanto maior seu valor, melhor o desempenho da célula. Acima do valor limite, podem ocorrer danos à membrana. Segundo Atkins et al, 2003, a temperatura de umidificação deve ser maior ou igual à temperatura de operação da célula-combustível, de modo a garantir que a mesma fique sempre bem umidificada.

Testes foram realizados com a célula-combustível tipo PEM de 15 W para avaliar seu comportamento sob variadas condições de operação, de forma a obter resultados que permitam futuramente estudar sua aplicabilidade em sistemas de geração distribuída.

2. Procedimento Experimental

Os experimentos foram realizados em uma célula-combustível tipo PEM de 15 W acoplada a uma bancada experimental de controle, ambas desenvolvidas em cooperação com a empresa Electrocell de São Paulo. A bancada de controle é composta basicamente por três controladores individuais de pressão para hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, dois medidores/controladores de vazão de hidrogênio e oxigênio da marca Omega, sistema de controle da temperatura de operação da célula marca COEL e carga dinâmica para ajuste da tensão e corrente desejadas. O sistema de umidificação utilizado foi desenvolvido no LabCET. A umidificação é realizada através do borbulhamento do hidrogênio e do oxigênio em recipientes com água destilada, nos quais a temperatura é controlada.

A célula-combustível é constituída por apenas um conjunto membrana-eletródos. O eletrólito é do tipo Nafion 112 com 25 cm² de área e os eletrodos são de grafite, sendo que as cargas de Pt/Ru do cátodo e do ânodo são de 0,6 mg/cm² e de 0,4 mg/cm², respectivamente.

O hidrogênio e o oxigênio utilizados nos experimentos são provenientes de cilindros fornecidos pela empresa White Martins. Na primeira etapa dos testes, as vazões de hidrogênio e oxigênio utilizadas, foram calculadas sob orientação do fabricante da célula. A vazão de hidrogênio foi 300 ml/min e de oxigênio foi 165 ml/min. Na segunda etapa dos testes, a vazão de hidrogênio foi diminuída para 200 ml/min, enquanto a vazão de oxigênio foi mantida em 165 ml/min. Em ambos os casos, foram feitos testes nas temperaturas de umidificação de 30, 50, 70 e 85 °C, associadas às temperaturas de operação de 30, 40, 50, 60, 70°C. Em cada uma dessas combinações de temperatura, levantou-se a curva de polarização de tensão (V) x densidade de corrente (A/cm²) gerada.

Foram também realizados experimentos sem umidificação nas temperaturas de operação de 30, 40, 50 e 60 °C, com vazões de hidrogênio e de oxigênio de 300 ml/min e de 165 ml/min, respectivamente, com o objetivo de identificar o comportamento da célula tipo PEM nessa condição.

Em todos os experimentos realizados, as pressões dos gases foram mantidas constantes e iguais a 50 kPa (manométrica). Não foi avaliada a influência da variação dessas pressões sobre o desempenho da célula-combustível, devido à limitação dos rotâmetros da bancada de testes, os quais não suportam pressões superiores a 100 kPa.

Para o levantamento das curvas de polarização, os testes foram iniciados com o circuito aberto (corrente zero), ao qual corresponde uma tensão máxima. Em seguida, a corrente é aumentada de forma que a tensão diminua em 0,05 V. Esse procedimento é repetido até o limite em que tensão e corrente não variem mais (tensão mínima e corrente máxima). Os dados (tensão e corrente) são coletados em cada um desses pontos, considerando um tempo de 90 segundos para que os parâmetros se estabilizem.

3. Resultados

Inicialmente foram calculadas as vazões recomendadas de hidrogênio e oxigênio a serem utilizadas nos experimentos correspondentes ao primeiro cenário estudado. Esses valores foram fixados em 300 ml/min para o hidrogênio e 165 ml/min para o oxigênio.

As Figuras 2, 3, 4 e 5 correspondem às curvas de polarização para as temperaturas de umidificação de 30, 50, 70 e 85 °C, respectivamente. Em cada figura estão plotadas as curvas correspondentes às diversas temperaturas utilizadas para operação da célula-combustível. Quanto menor a inclinação da curva em relação à horizontal, melhor o desempenho da célula-combustível, pois menor é a resistência do eletrólito à passagem de íons.

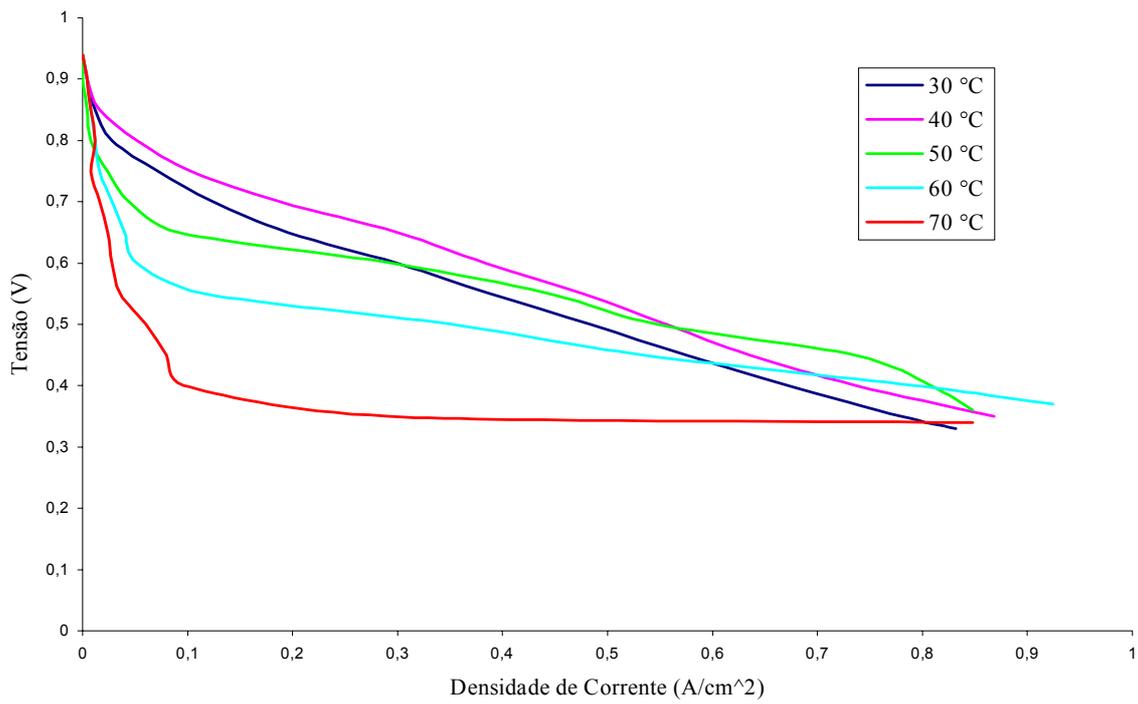


Figura 2. Curvas de polarização correspondentes à temperatura de umidificação de 30 °C e vazões de H₂ e O₂ de 300 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

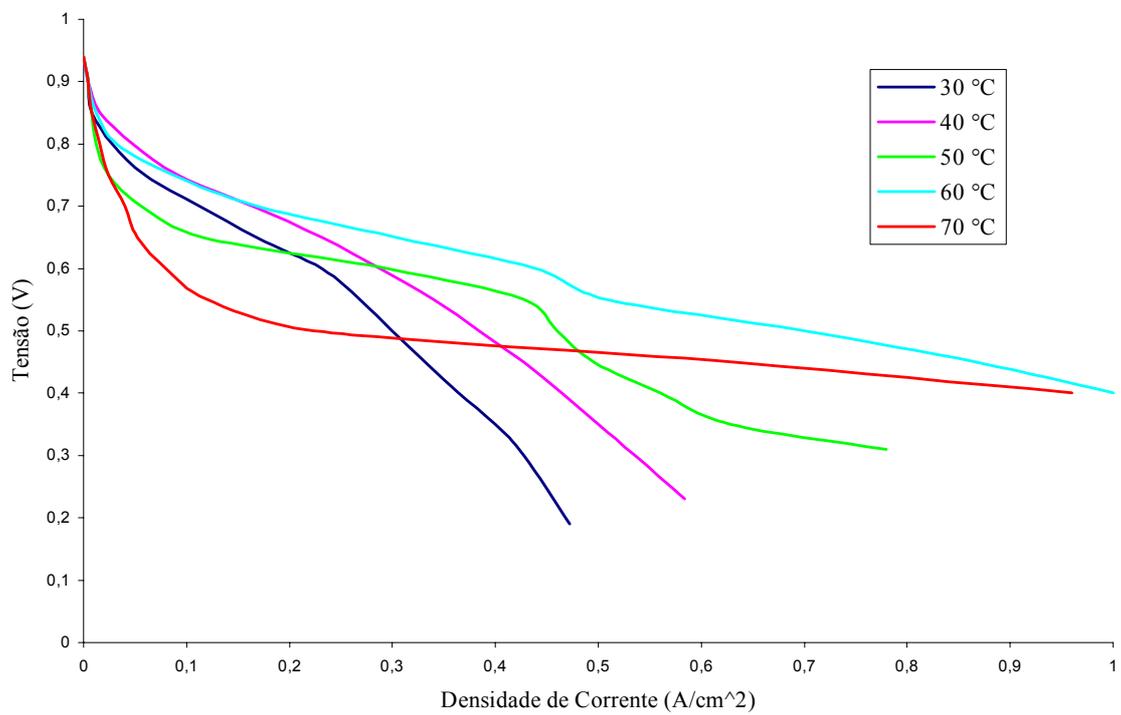


Figura 3. Curvas de polarização correspondentes à temperatura de umidificação de 50 °C e vazões de H₂ e O₂ de 300 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

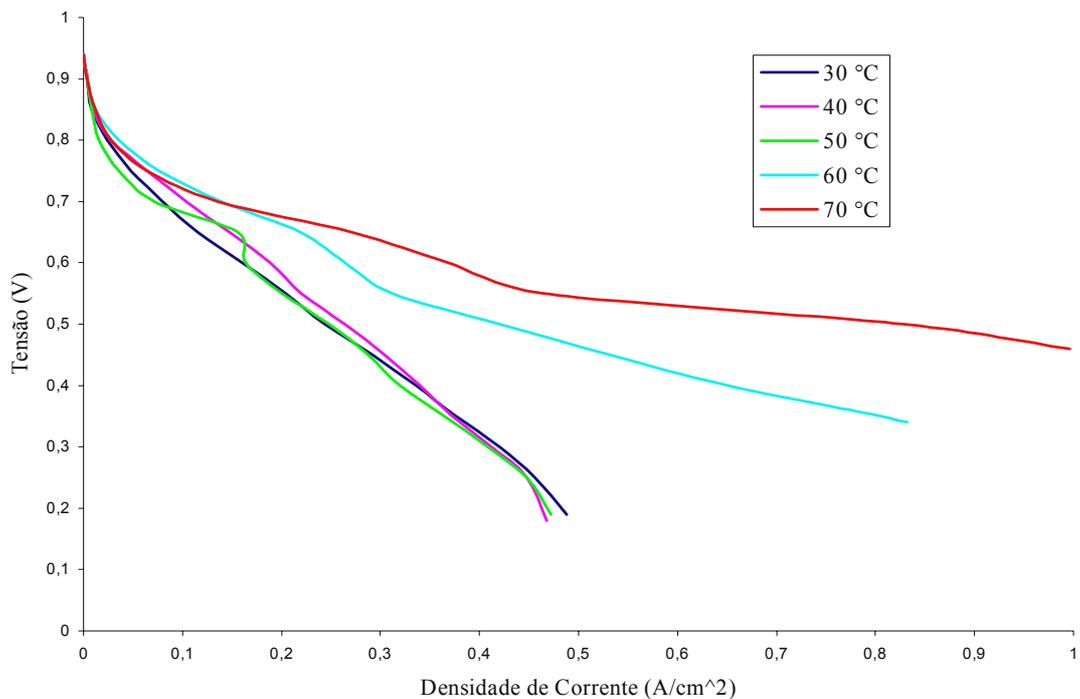


Figura 4. Curvas de polarização correspondentes à temperatura de umidificação de 70 °C e vazões de H₂ e O₂ de 300 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

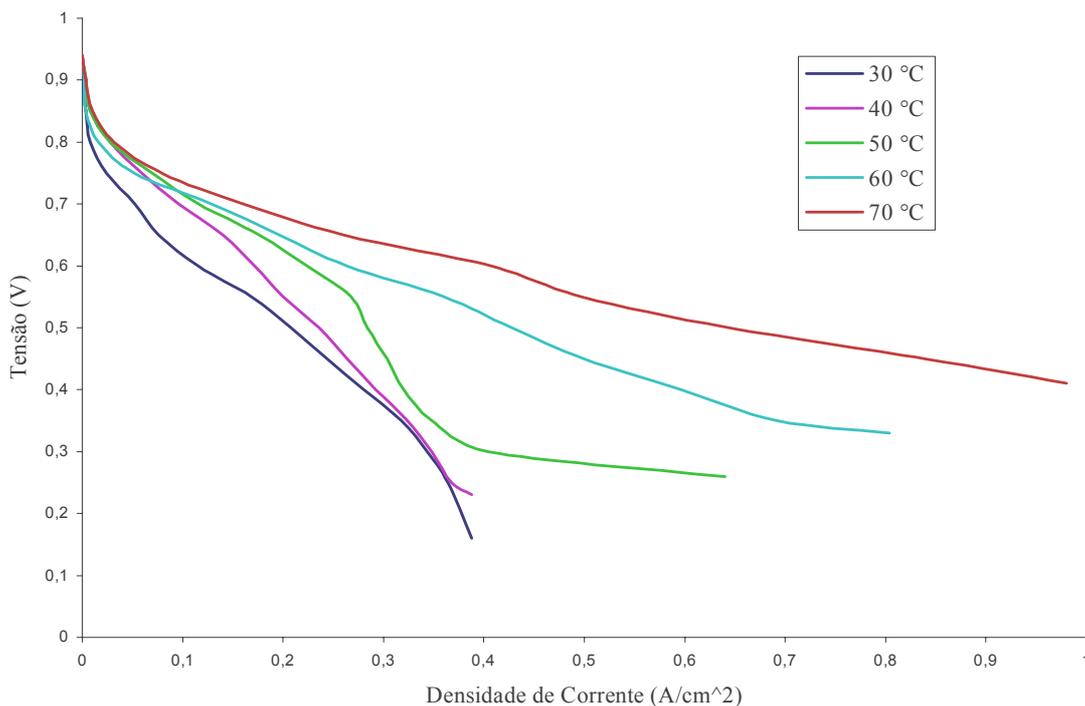


Figura 5. Curvas de polarização correspondentes à temperatura de umidificação de 85 °C e vazões de H₂ e O₂ de 300 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

Para o caso da Fig. 2, em que a temperatura de umidificação foi fixada em 30 °C, o desempenho da célula-combustível melhorou com o aumento da sua temperatura de operação de 30 °C para 40°C, mas diminuiu gradativamente para temperaturas maiores, no caso 50, 60 e 70 °C. Já na Fig. 3, em que a umidificação ocorreu a 50 °C, o desempenho da célula-combustível teve uma tendência de melhora com o aumento da sua temperatura até atingir 60 °C, apesar da anormalidade na temperatura de 50 °C. Para a temperatura de 70 °C a eficiência caiu. Nas Figuras 4 e 5, correspondentes às temperaturas de umidificação de 70 °C e 85 °C respectivamente, o aumento da temperatura de operação da célula levou a melhoria do seu desempenho, com exceção do caso correspondente à temperatura de 50 °C.

Nos casos das curvas correspondentes à temperatura de operação de 50 °C das Figs. 3, 4 e 5, a célula apresentou um comportamento inesperado. Estudos prosseguem no sentido de entender as causas desse comportamento, já que a célula-combustível ficou instável nessas condições.

No cenário 2, os testes foram realizados analogamente ao cenário 1, só que agora utilizando uma vazão de hidrogênio de 200 ml/min. Os demais parâmetros foram mantidos. As Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam as curvas de polarização correspondentes às temperaturas de umidificação de 30, 50, 70 e 85 °C. Em cada uma das figuras estão plotadas as curvas correspondentes a cada uma das temperaturas de operação da célula-combustível.

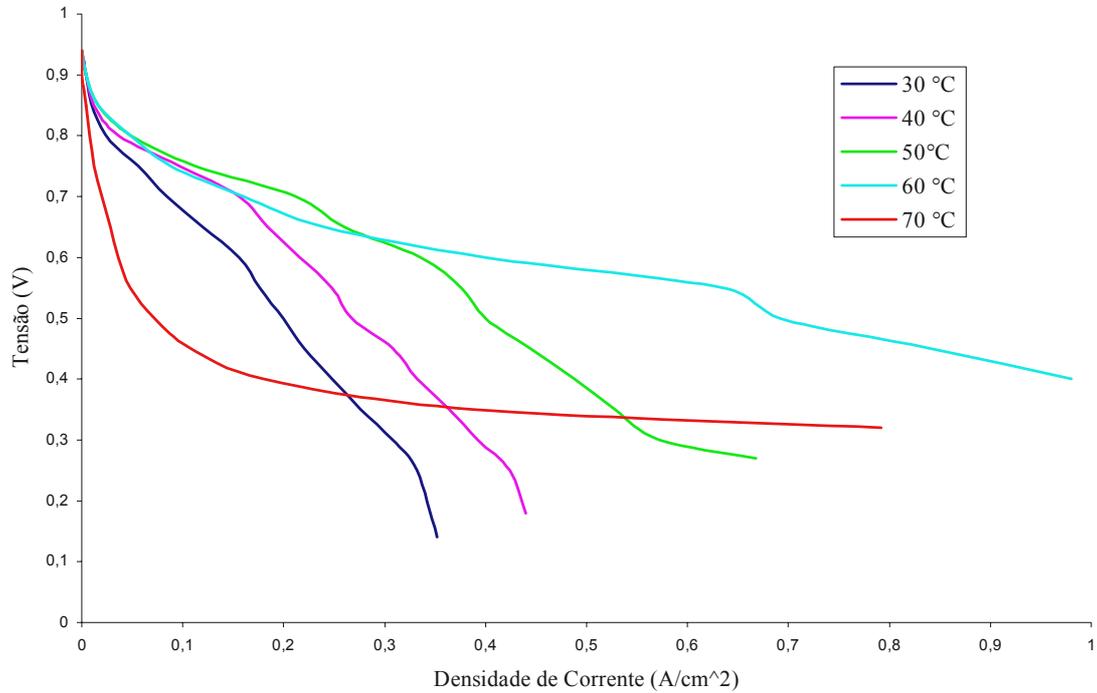


Figura 6. Curvas de polarização correspondentes à temperatura de umidificação de 30 °C e vazões de H₂ e O₂ de 200 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

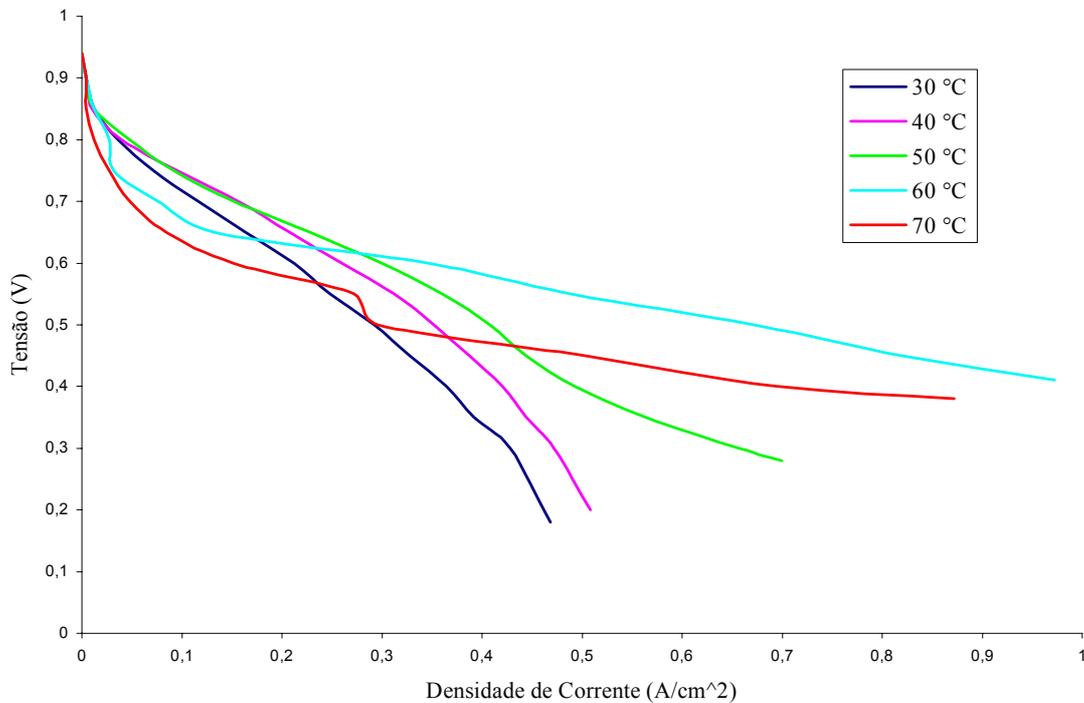


Figura 7. Curvas de polarização correspondentes à temperatura de umidificação de 50 °C e vazões de H₂ e O₂ de 200 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

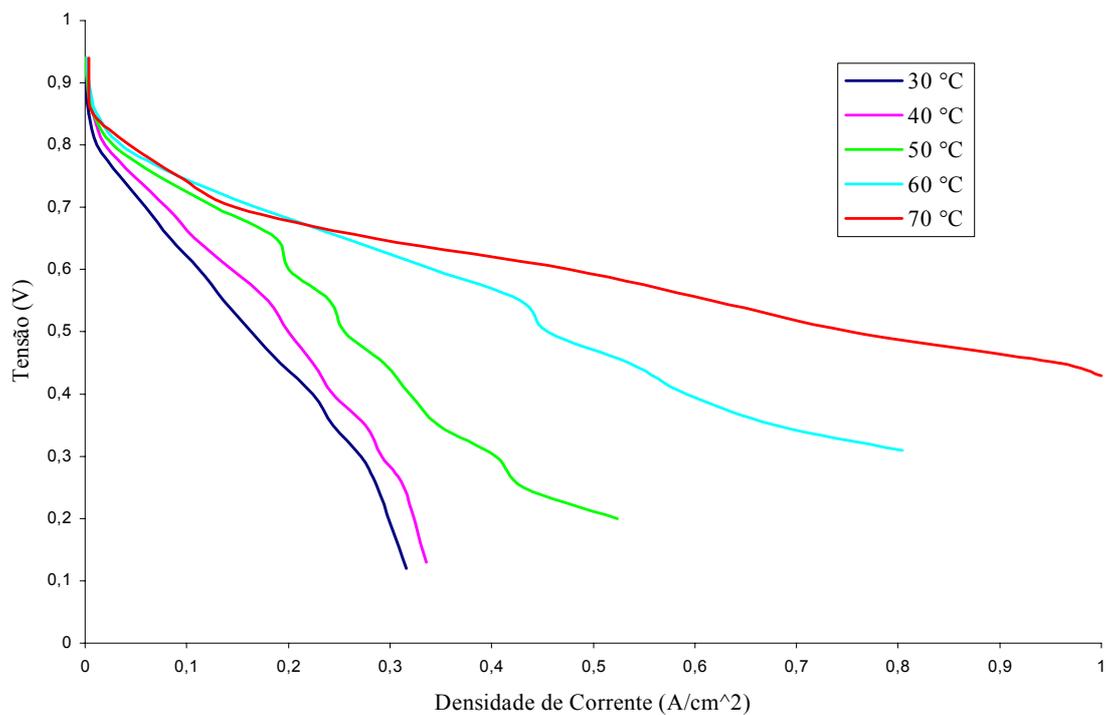


Figura 8. Curvas de polarização correspondentes à temperatura de umidificação de 70 °C e vazões de H₂ e O₂ de 200 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

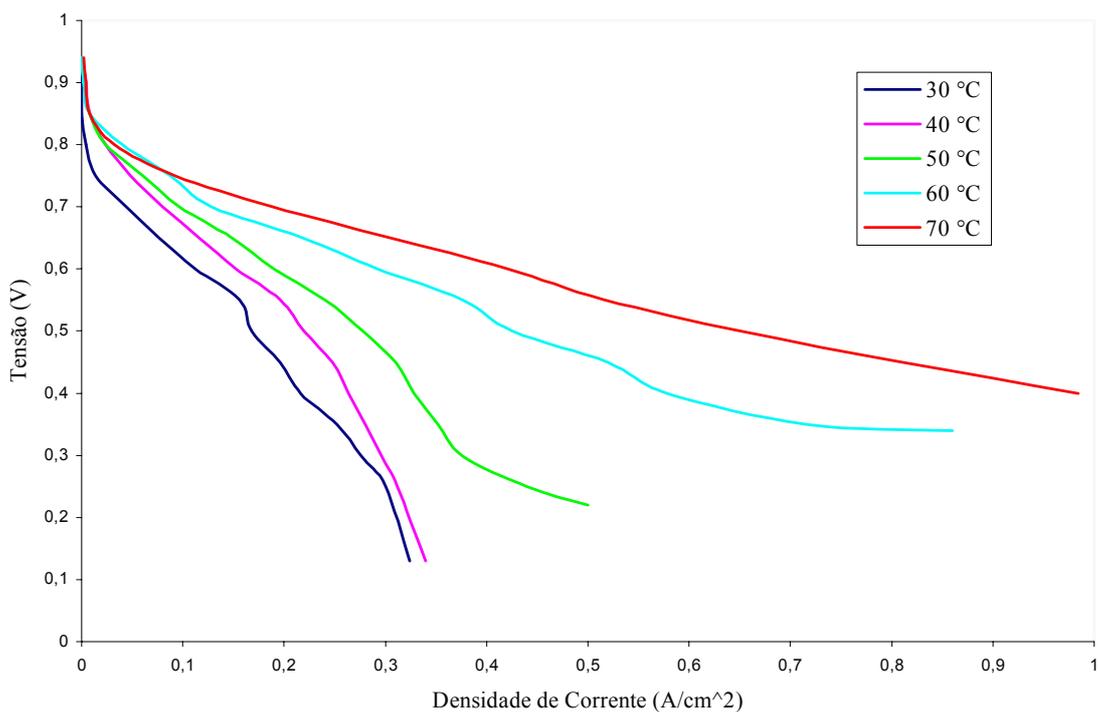


Figura 9. Curvas de polarização correspondentes à temperatura de umidificação de 85 °C e vazões de H₂ e O₂ de 200 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

Para os casos das Figs. 6, 7, 8 e 9 o comportamento da célula-combustível foi semelhante aos casos anteriormente retratados nas Figs. 2, 3, 4 e 5. Ou seja, para os casos em que a temperatura de umidificação foi de 30 e 50 °C, o desempenho da célula-combustível melhorou até certo ponto com o aumento da temperatura de operação, mas depois ocorreu uma queda. Para os casos em que a temperatura de umidificação foi mais alta (70 e 85 °C), sempre houve aumento da eficiência da célula com o aumento da sua temperatura de operação.

Existe uma tendência clara de melhoria do desempenho da célula-combustível com o aumento das temperaturas de operação e de umidificação, desde que elas sejam próximas. Isso pode ser facilmente observado nas Figs. 2, 3, 6 e 7. As curvas de desempenho da célula-combustível nos casos em que a temperatura de operação foi bem mais alta que a temperatura de umidificação, ficaram abaixo das curvas correspondentes as temperaturas de operação mais baixas. Nos casos em que a temperatura de umidificação foi muito maior que a temperatura de operação, também ocorreu uma queda no desempenho da célula, conforme pode ser observado na Figs. 4, 5, 8 e 9. Nessas mesmas figuras, as curvas correspondentes às temperaturas de operação de 30, 40 e 50 °C, apresentam um comportamento abaixo dos níveis apresentados quando a umidificação ocorreu em temperaturas mais baixas (Figs. 2, 3, 6 e 7).

Dessa forma, os resultados obtidos concordam apenas parcialmente com o descrito por Atkins et al, 2003, de que a temperatura de umidificação deve ser sempre maior ou igual à temperatura de operação da célula-combustível, pois o desempenho da célula-combustível atingiu os melhores valores quando suas temperaturas de operação e de umidificação foram próximas. Uma possível causa para a queda no desempenho da célula-combustível quando a temperatura de umidificação foi muito mais alta que a temperatura de operação, pode ter sido a condensação do vapor contido nos gases, quando os mesmos entraram em contato com a célula numa temperatura mais baixa.

Em geral, a diminuição da vazão de hidrogênio levou à melhoria do desempenho da célula-combustível, muito provavelmente porque em ambos os casos houve excesso de combustível sendo injetado.

A Figura 10 apresenta as curvas correspondentes ao caso em que o experimento foi realizado sem umidificação do hidrogênio e do oxigênio.

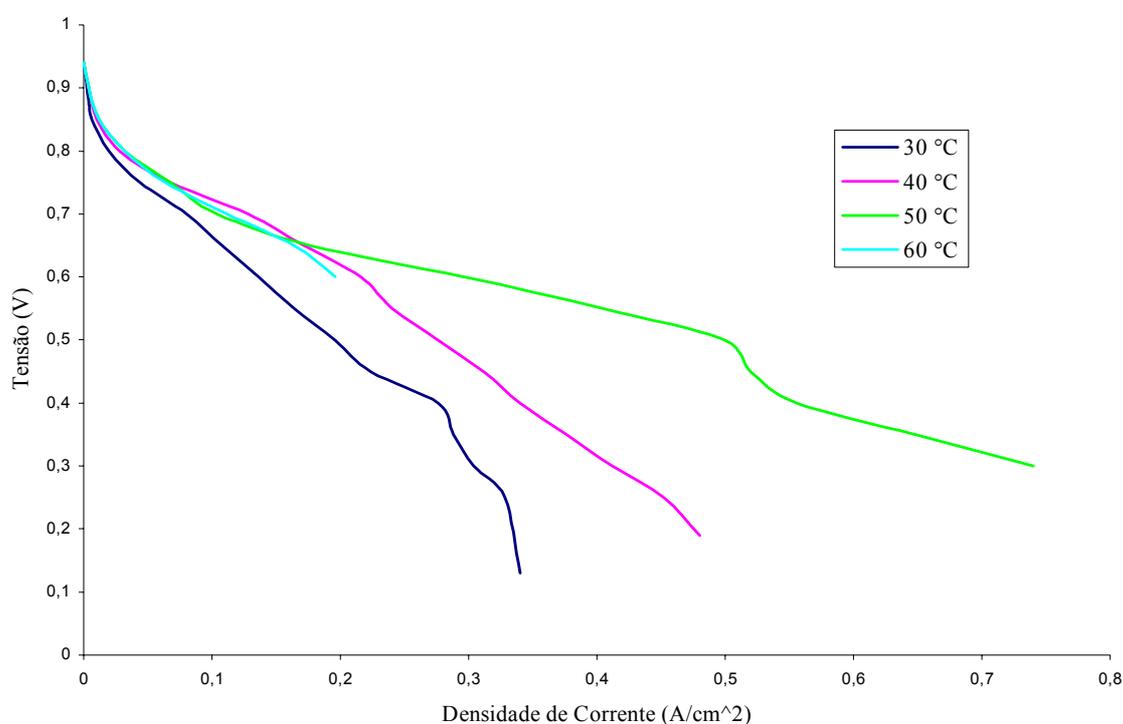


Figura 10. Curvas de polarização obtidas sem umidificação da célula-combustível e com vazões de H₂ e O₂ de 300 ml/min e 165 ml/min, respectivamente.

De acordo com a Fig. 10, podemos observar que o desempenho da célula-combustível foi nitidamente inferior aos casos em que houve umidificação. No início dos testes, quando a temperatura de operação da célula foi aumentada de 30 °C para 40 °C, houve uma tendência de melhora na eficiência, provavelmente devido à existência de umidade residual na membrana, já que haviam sido realizados testes com umidificação anteriormente. A partir da temperatura de 50 °C, tornou-se perceptível uma maior instabilidade da célula. Para a temperatura de operação de 60 °C, não foi possível terminar o teste, indicando que a membrana já estava completamente desidratada. O teste à 70 °C não foi realizado, devido ao risco de danificar a membrana.

4. Conclusão

Testes de desempenho de uma célula-combustível tipo PEM de 15 W foram realizados com relativo sucesso. Os testes consideraram basicamente dois cenários distintos de consumo de hidrogênio, levando-se em conta diferentes temperaturas de operação e de umidificação da célula-combustível. As curvas de polarização apresentadas foram obtidas mediante variação da carga elétrica gerada.

Com base nos resultados obtidos, fica clara a influência da temperatura de operação e da temperatura de umidificação sobre o desempenho da célula-combustível. No caso do teste sem umidificação, com o aumento da temperatura a célula-combustível ficou instável, comprovando que a umidificação da mesma é muito importante para sua operação. A diminuição da vazão de combustível levou a uma melhoria do desempenho da célula, provavelmente porque nos dois casos estudados, havia excesso de combustível.

Trabalhos prosseguem, com o objetivo de avaliar a influência de outros parâmetros sobre o desempenho da célula-combustível PEM. Pretende-se ainda estudar os casos em que as temperaturas de operação e de umidificação são iguais, além de outros cenários nas mesmas condições dos testes incluídos no presente trabalho.

5. Agradecimentos

Ao CNPq pela ajuda financeira concedida ao projeto e para o pagamento dos bolsistas.

6. Referências

- Atkins, J. R., Savett, S. C., Creager, S.E., 2003, "Large-scale current fluctuations in PEM fuel cells operating with reduced feed stream humidification", *Journal of Power Sources*, Article in Press.
- Ghenciu, A. F., 2002, "Review of fuel processing catalysts for hydrogen production in PEM fuel cell systems", *Current Opinion in Solid State and Material Science*, vol. 6, pp. 389-399.
- Ming, Q., Healey, T., Allen, L. & Irving, P., 2002, "Steam reforming of hydrocarbon fuels", *Catalysis Today*, vol. 77, pp. 51-64.
- Okada, O., Yokoyama, K., 2001, "Development of Polymer Electrolyte Fuel Cell Cogeneration Systems for Residential Applications", Research and Development Department, Osaka Gas Co., Ltd, Japan.
- Qi, Z., He, C. & Kaufman, A., 2002, "Effect of CO in the anode fuel on the performance of PEM fuel cell cathode", *Journal of Power Sources*, vol. 111, pp. 239-247.
- Wang, L., Husar, A., Zhou, T. & Liu, H., 2003, "A parametric study of PEM fuel cell performances", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 28, pp. 1263-1272.

EXPERIMENTAL ESTUDY OF A 15 W PEM FUEL CELL

Paulo Sergio Steidel

Federal University of Santa Catarina – UFSC
Department of Mechanical Engineering
Laboratory of Combustion and Thermal System Engineering – LabCET
88040-900 – University Campus – Florianópolis – SC – Brazil
steidel@cet.ufsc.br

Daniel Schmidt Heusi

Federal University of Santa Catarina – UFSC
Department of Mechanical Engineering
Laboratory of Combustion and Thermal System Engineering – LabCET
88040-900 – University Campus – Florianópolis – SC – Brazil
heusi@cet.ufsc.br

Edson Bazzo

Federal University of Santa Catarina – UFSC
Department of Mechanical Engineering
Laboratory of Combustion and Thermal System Engineering – LabCET
88040-900 – University Campus – Florianópolis – SC – Brazil
ebazzo@emc.ufsc.br

Abstract. An experimental study of 15 W PEMFC is performed at the Laboratory of Combustion and Thermal Systems Engineering of UFSC, using hydrogen as fuel. An experimental support was especially set up for performance tests. Different sceneries were considered, changing the fuel mass flow, operation temperature and humidification temperature of the fuel cell. The polarization curves are shown at the above operation conditions as well as conclusive comments regarding the fuel cell performance. The results show that the performance is strongly influenced by its operation conditions. Also, the humidification is essential for operation stability and good performance of the fuel cell.

Keywords: Fuel Cell, PEMFC, Hydrogen, Polarization Curves.