

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE HIDROGÊNIO PARA DIFERENTES CANAIS DE FLUXO DE UMA CÉLULA COMBUSTÍVEL TIPO MEMBRANA POLIMÉRICA

Carlos Felipe Barbosa Campos, carlosfelipebcampos@gmail.com¹

Rafael de Souza Almeida, rafaeldsa92@gmail.com¹

Thiago José Cyrne Moreno, thiagocyrne@yahoo.com.br¹

Lucas Kort, lucas.kort@outlook.com¹

Raphael Pereira da Silva, raphaelp.silva@hotmail.com¹

Filipe de Bona Sartor, filipesartor@id.uff.br¹

Fábio José Bento Brum, fabiobrum@id.uff.br¹

¹Universidade Federal Fluminense, Avenida dos Trabalhadores, 420 - Vila Santa Cecília, Volta Redonda - RJ, 27255-125, Brasil

Resumo: Com o crescimento da população mundial, o aumento da demanda por energia elétrica torna-se uma questão fundamental a ser gerenciada. Neste contexto, a pesquisa por fontes menos poluentes tem ganhando espaço na sociedade do século XXI. Sendo assim, apresenta-se como uma boa alternativa para a produção de energia elétrica de maneira sustentável a tecnologia de célula combustível, que a partir de gás hidrogênio e oxigênio produz energia e água. Este artigo aborda a modificação das geometrias de fluxo dos canais do ânodo através da simulação por fluidodinâmica computacional, utilizando o software Autodesk® CFD, em sua versão acadêmica. Inicialmente realiza-se a revisão de literatura no que diz respeito à tecnologia de célula combustível e os conceitos de fluidodinâmica computacional. Após esta etapa são modeladas diferentes geometrias com objetivo de obter os campos de velocidade e pressão do escoamento de hidrogênio através dos canais de fluxo do ânodo.

Palavras-chave: Célula combustível, fluidodinâmica computacional, hidrogênio e ânodo.

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas científicas desenvolvidas nos últimos anos apontam alternativas para a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis, tais como o uso de energia eólica, solar, biomassa e hidrogênio. Este último utilizado como combustível apresenta um grande potencial de energia por molécula e uma grande abundância no planeta. Uma das tecnologias mais desenvolvidas nos dias atuais é a célula combustível – CaC, dispositivo eletroquímico que converte energia química diretamente em energia elétrica.

Wang et al. (2010), demonstram que a geometria dos canais de fluxo, ou placas bipolares, tem grande influência na eficiência energética de células a combustível, sendo assim uma considerável fonte de alterações para melhoria dos rendimentos das células.

Weber e Newman (2014), destacam que no caso das células a combustível, a complexidade envolvida no processo de produção de energia elétrica, que envolve reações químicas, interações eletrônicas e transferência de calor e massa, o auxílio da computação para processar as equações baseadas em experimentos que regem o funcionamento é de grande valia, sendo essa a principal ferramenta utilizada neste artigo.

2. METODOLOGIA

O princípio de funcionamento é semelhante às baterias, com a diferença que seus reagentes estão armazenados externamente aos dispositivos e tem o seu fornecimento realizado de forma contínua. O mecanismo de reação consiste na injeção de gás hidrogênio no ânodo por onde se iniciam as reações eletroquímicas na interface eletrodo/catalisador/eletrolito, e, no outro lado no catodo é injetado ar atmosférico ou oxigênio. Dessa forma, faz-se necessário uma abordagem em que se analise as reações eletroquímicas bem como os processos que as envolve.

2.1. Equações Governantes (Modelagem Matemática)

O escoamento de hidrogênio nos canais de fluxo obedece à equação da continuidade e as equações de Navier Stokes, sendo tratado como um fluido incompressível, o que é comprovado pelo cálculo do número de Reynolds, considerando que os canais possuem área transversal bem pequena, similar a um tubo capilar.

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{v} + f \quad (3)$$

Em que Re é o número de Reynolds, ρ é a densidade do fluido (kg/m^3), D é o diâmetro hidráulico (m), $\vec{v}$ é o vetor velocidade (m/s), μ é a viscosidade dinâmica (Pa.s), ∇P é o gradiente de pressão (Pa) e f representa forças externas aplicadas ao fluido.

O escoamento do gás hidrogênio nos canais de fluxo pode ser considerado laminar e incompressível devido a baixa velocidade do reagente.

2.2. Confeção da Geometria da Malha

Para geração das malhas da geometria foi utilizada a opção automática no qual o próprio programa gera malhas tomando como base a geometria do modelo CAD. Esse método foi escolhido devido às suas vantagens, que segundo o fabricante Autodesk®, são principalmente: a melhor distribuição de elementos, que faz com que a malha esteja com maior refino em regiões onde há mudança de geometria e que assim demandam maior número de elementos, e maior malha onde não tem tanta necessidade de refino, o que contribui para não aumentar o tempo de cálculo com algo que não traria diferença significativa para a solução do problema; a melhor qualidade de malha e suas transições em relação a malhas feitas de modo manual, o que tem por consequência uma solução mais confiável, pelo problema melhor definido.

2.3. Condições de Contorno e Parâmetros

Foi considerado como condições de contorno densidade do hidrogênio constante, velocidade de escoamento baixa, escoamento laminar e fluido incompressível. Os parâmetros por sua vez podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de Simulação

Densidade	8,38349e-05 g/cm ³
Viscosidade	8,96e-06 Pa.s
Condutividade	0,183 W/mK
Calor específico	14310 J/kgK
Compressibilidade	1,4
Emissividade	1,0
Fase	Vapor
Velocidade de escoamento na entrada	0,1 m/s
Pressão relativa de saída	0

3. PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

O trabalho foi realizado em um software CAD onde foram feitos os modelos 3D da geometria dos canais do ânodo, e, um software acadêmico de CFD de fluidodinâmica computacional em regime de elementos finitos, onde foi realizada a simulação do escoamento do hidrogênio. O desenvolvimento deste artigo observou as seguintes etapas:

1. Obtenção das propriedades geométricas da placa do ânodo e canais de fluxo;
2. Criação do modelo 3D;
3. Elaboração da malha;
4. Configuração das condições de simulação;
5. Simulação computacional para as diferentes geometrias;

Na figura 1 identifica a placa do ânodo utilizada na simulação.

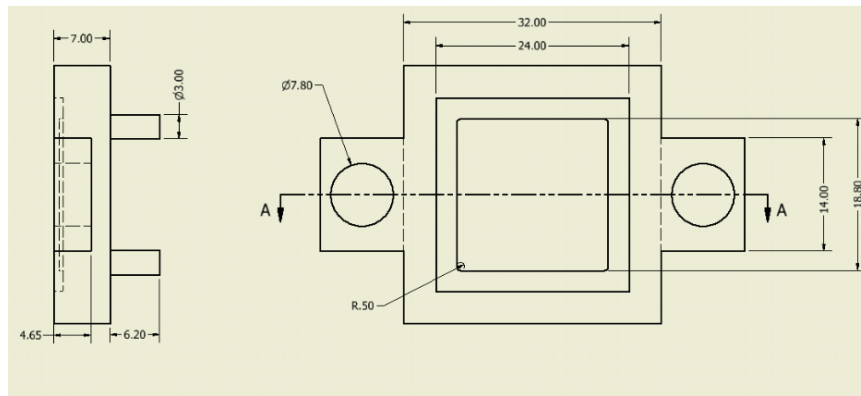


Figura 1. Dimensões da placa do ânodo em mm

A região retangular localizada no centro da placa é onde estarão localizados os canais de fluxo do ânodo e as partes cilíndricas localizadas na região traseira da placa serão os tubos de entrada e saída de hidrogênio. A tabela 2 indica as configurações dos diferentes canais de fluxo utilizados na simulação. As geometrias utilizadas foram os canais intermitentes, canais em serpentina com o perfil curvo e canais em serpentina com perfil retangular.

Tabela 2. Configuração dos canais

Geometria dos Canais	Largura (mm)	Profundidade (mm)
Canais Intermitentes	1	0,5
Serpentina com Perfil Retangular	0,8	0,5
	1	0,5
	1,2	0,5
Serpentina com Perfil em Curva	0,8	0,5
	1	0,5
	1,2	0,5

Os canais intermitentes distribuem o fluxo de fluido para todas as direções. Em canais do tipo serpentina o fluxo é feito por um único canal que liga a entrada a saída da placa de fluxo. Por sua vez, a configuração em paralelo tem seu fluxo de entrada em um único canal que posteriormente é dividido em vários outros canais que estão em paralelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia explicitada na seção anterior, foram realizadas sete simulações e, com isso foi possível prever o comportamento do escoamento do hidrogênio nos canais do ânodo. As duas grandezas analisadas foram os campos de velocidade e pressão. O artigo interpretará o comportamento da velocidade e da pressão para diferentes geometrias em cada especificação de largura dos canais. Os campos de velocidade para as diferentes geometrias estão representados nas figuras 2, 3 e 4 enquanto os campos de pressão estão representados nas figuras 5, 6 e 7.

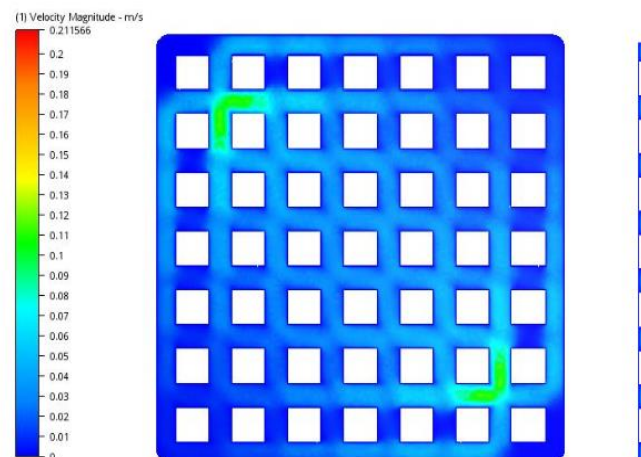


Figura 2. Velocidade em canais intermitentes.

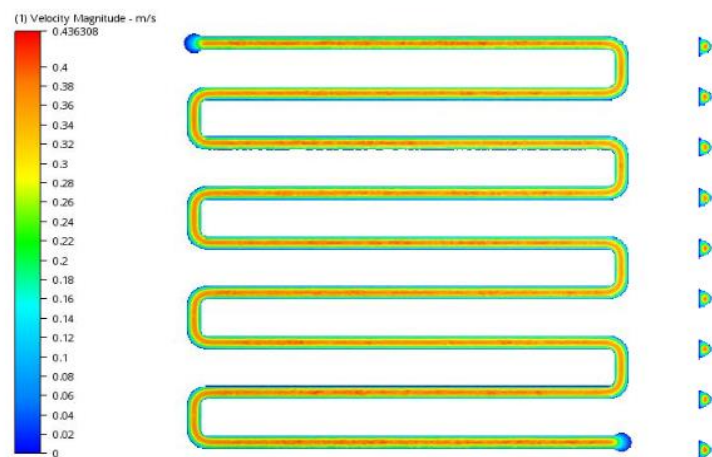


Figura 3. Velocidade em canais de serpentina curvo.

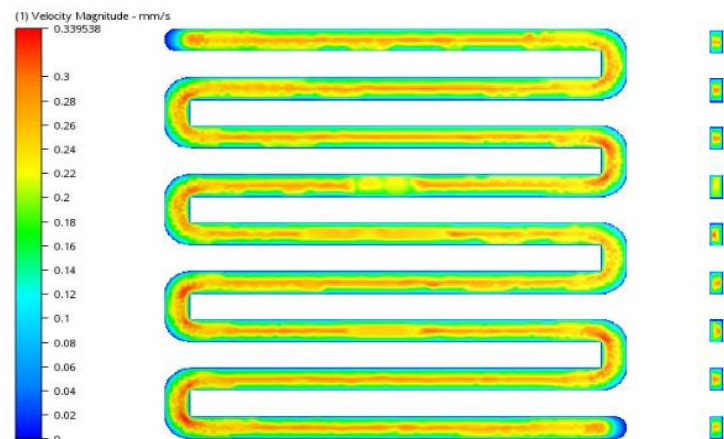


Figura 4. Velocidade em canais de serpentina retangular.

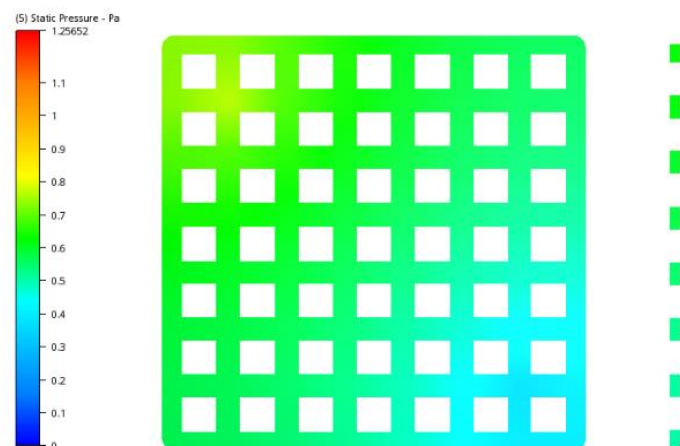


Figura 5. Pressão em canais intermitentes.

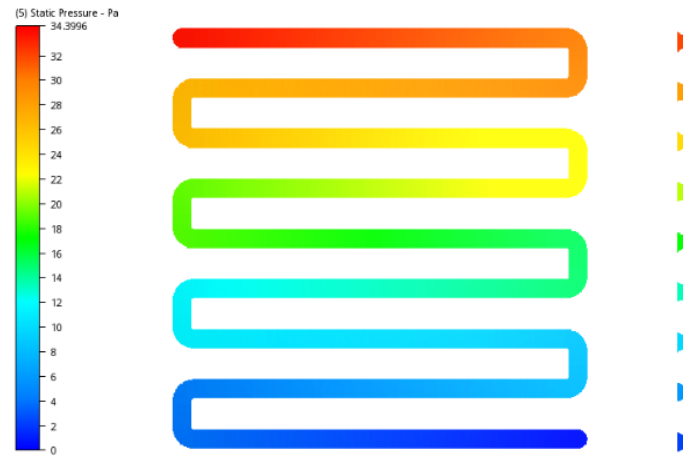


Figura 6. Pressão em canais de serpentina curvo.

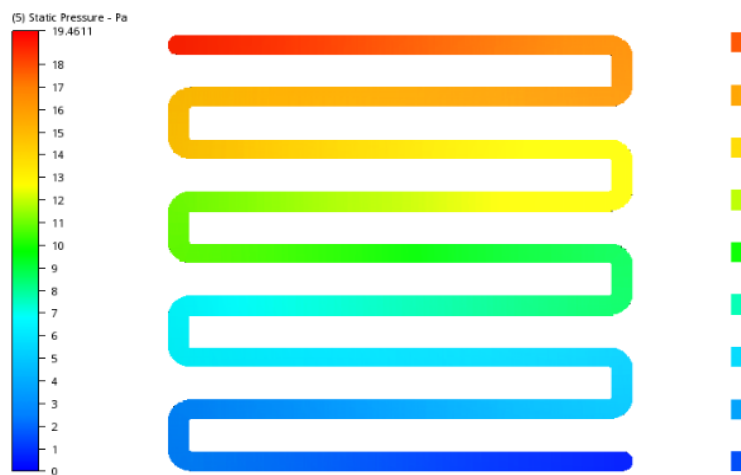


Figura 7. Pressão em canais de serpentina retangular.

Os resultados preliminares apontam que as células de canais intermitentes apresentam uma menor velocidade e uma maior taxa de retenção de hidrogênio nos canais para que seja absorvido. Os canais em serpentina de perfil curvo foram o que apresentaram um escoamento mais uniforme obtendo maiores velocidades e maiores quedas de pressão. Os canais em serpentina de perfil retangular apesar de menores queda na pressão apresentam um escoamento menos uniforme.

5. CONCLUSÃO

Foi possível fazer um estudo do escoamento de hidrogênio em uma célula a combustível em suas diversas dimensões e foi observado que a geometria impacta a distribuição de hidrogênio através dos resultados obtidos sobre a velocidade de escoamento e a distribuição de pressão que mudam de acordo com a geometria aplicada na placa de fluxo do ânodo. Além disso, os resultados mostram que as considerações feitas para realização das simulações foram coerentes. Vendo o que foi analisado, e a geometria de canais com perfil curvo seria a melhor escolha para escoar o hidrogênio nos canais da placa de fluxo do ânodo, pois esta geometria consegue fazer a distribuição mais uniforme, como dito anteriormente, e também, pelo seu formato que consegue manter o escoamento a uma menor velocidade nas laterais e regiões próximas à camada difusora de gás. Dados sobre a performance de células a combustível com canais em serpentina, mostraram que com esse tipo de canal pode-se obter maior eficiência energética em relação a outros tipos de canais.

6. REFERÊNCIAS

- Adam Z. Weber, John Newman. Modeling Transport in Polymer-Electrolyte Fuel Cells. Chemical Reviews, 2014.
- Bacon, F. T., "The Development and Practical Application of Fuel Cells: Keynote Address", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 10, Issues 7-8, pp. 423-430, 1985.
- Barbir, F. PEM Fuel Cells: Theory and Practice. Academic Press, Burlington, MA, EUA, 2005.

- Doubek, G. et al. Application of CFD techniques in the modelling and simulation of PBI PEMFC. Fuel Cells, v. 11, p. 764-774, 2011.
- Eikerling, M. Physical Modeling of PEM Fuel Cells. Fuel Cell Workshop. Brasília, DF, 2007.
- Xiao-Dong Wang, Yu-Xian Huang, Chin-Hsiang Cheng, Jiin-Yuh Jang, Duu-Jong Lee, Wei-Mon Yan, Ay Su. An inverse geometry design problem for optimization. International Journal of Hydrogen Energy, 2010.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

COMPUTATIONAL SIMULATION OF HYDROGEN DRAINAGE FOR DIFFERENT FLOW CHANNELS OF A POLYMERIC MEMBRANE FUEL CELL

Carlos Felipe Barbosa Campos, carlosfelipebcampos@gmail.com¹

Rafael de Souza Almeida, rafaeldsa92@gmail.com¹

Thiago José Cyrne Moreno, thiagocyrne@yahoo.com.br¹

Lucas Kort, lucas.kort@outlook.com¹

Raphael Pereira da Silva, raphaelp.silva@hotmail.com¹

Filipe de Bona Sartor, filipesartor@id.uff.br¹

Fábio José Bento Brum, fabiobrum@id.uff.br¹

¹Universidade Federal Fluminense, Avenida dos Trabalhadores, 420 - Vila Santa Cecília, Volta Redonda - RJ, 27255-125, Brasil

Abstract. As world population grows, increasing demand for electricity becomes a key issue to be managed. In this context, research for less polluting sources has gained ground in 21st century society. Thus, it is presented as a good alternative for the production of electric energy in a sustainable way the fuel cell technology, which from hydrogen gas and oxygen produces energy and water. This paper discusses the modification of the anode channel flow geometries through computational fluid dynamics simulation using Autodesk® CFD software in its academic version. Initially the literature review is carried out with regard to fuel cell technology and the concepts of computational fluid dynamics. After this step different geometries are modeled in order to obtain the fields of velocity and pressure of the hydrogen flow through the anode flow channels.

Keywords: Fuel cell, computational fluid dynamics, hydrogen and anode