



Centro Universitário de Excelência

UM SISTEMA AUTOMATIZADO E LIMPO PARA GERAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE GÁS HIDROGÊNIO

Discente: JOÃO BATISTA DA SILVA

Docente: Prof. Dr. JOSÉ HUMBERTO MACHADO TAMBOR

CENTRO UNIVERSITÁRIO ENIAC

Guarulhos
2019

UM SISTEMA AUTOMATIZADO E LIMPO PARA GERAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE GÁS HIDROGÊNIO

1. RESUMO

A emissão de gás carbônico atingiu índices exorbitantes, como consequência influenciou no aumento da temperatura global e impulsionou diversos países a buscarem fontes de energia com menor nível de emissão, com o propósito de diminuir os efeitos causados pela emissão de gases de efeito estufa. O uso do hidrogênio está sendo vinculado como uma das soluções para a mudança climática, pois estudos comprovam que o hidrogênio é um excelente portador de energia, e sua queima resulta apenas em vapor de água. Com bases em estudos sobre o tema, foi desenvolvido um protótipo para o maior entendimento dos conceitos, em que consta de um sistema com controle automatizado para geração de hidrogênio e oxigênio, através do processo de eletrólise da água. A energia necessária foi proveniente de uma fonte renovável. O projeto inicial foi composto por uma placa fotovoltaica, controladores, reator de eletrólise, compressor e cilindro para armazenamento de gás hidrogênio. A automatização foi elaborada com o microcontrolador Atmel, no qual foram conectados sensores de monitoramento de gás hidrogênio, corrente elétrica, pressão e um drive de PWM para fazer o controle de corrente do reator. As informações obtidas por meio dos sensores serão fundamentais para o aprimoramento e otimização do processo de produção de gás hidrogênio. A utilização de hidróxido de potássio como meio condutor iônico resultou na melhor produção de gás hidrogênio analisada.

Palavras chaves: Hidrogênio. Células fotovoltaicas. Energia renovável. Célula de combustível.

2. INTRODUÇÃO

A energia é um recurso primordial para o desenvolvimento econômico. No início dos anos 70, depois da crise do petróleo, países ao redor do mundo começaram a se preocupar com o desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Além disso, o impacto ambiental cresceu drasticamente pressionando autoridades do mundo inteiro a estabelecerem metas de diminuição de poluentes e destinar recursos para a implementação de fonte de energia limpa (KALOGIROU, 2016).

Outro fator a ser considerado é o crescimento da população mundial. É previsto que até a metade desse século a população dobre, e a demanda energética continuará a crescer proporcionalmente levando a diminuição de recursos petrolíferos (KALOGIROU, 2016).

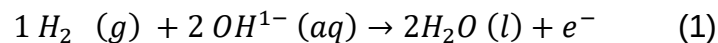
O hidrogênio pode oferecer várias maneiras de descarbonizar diversos setores, onde é difícil de diminuir significativamente as emissões de gases de efeito estufa. Apesar de diversas medidas para diminuir a poluição do ar, em 2018, a emissão de CO₂ atingiu um nível recorde. A poluição do ar é um problema presente, com cerca de 3 milhões de pessoas morrendo prematuramente a cada ano (International Energy Agency, 2019).

O gás hidrogênio tem sido anunciado como um potencial combustível de transporte, pois é visto como uma alternativa para substituir os combustíveis derivados de petróleo e pode ser produzido através de energias renováveis, como o uso de painéis fotovoltaicos (PV) e eólica, cuja disponibilidade nem sempre é de acordo com a demanda. Além disso, pode promover desenvolvimento de novas tecnologias e contribuir significativamente para a transição para uma forma de energia limpa (International Energy Agency, 2019).

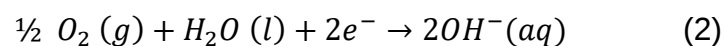
A eletrólise da água é um dos processos mais versáteis de produção de hidrogênio, pois podem ser desenvolvidos dispositivos para geração de gás puro numa faixa de 0,5 L/min a 100.000 m²/h. Porém, para reduzir o custo do equipamento e o consumo de eletricidade devem ser desenvolvidos materiais poliméricos e metálicos com custo inferior e com alta resistência à corrosão, além disso, catalisadores para os eletrodos com principal objetivo a reduzir o consumo de eletricidade e membranas resistentes (Hidrogênio energético no Brasil, 2010).

No momento, produzir hidrogênio a partir de energia renovável é caro. Análises da Agência Internacional de Energia consideram que o custo de produção de hidrogênio a partir de eletricidade renovável pode cair 30% em 2030, como resultado da redução dos custos de energias renováveis e da expansão da demanda de hidrogênio. Células à combustível, equipamentos de reabastecimento e eletrolisadores podem se beneficiar da fabricação em massa (International Energy Agency, 2019).

As células de combustíveis são utilizadas principalmente na indústria e como fonte de energia em algumas espaçonaves tripuladas como as naves Gemini, Apollo e Ônibus Espacial. A Figura 1 mostra o princípio de funcionamento de uma célula alcalina de combustível com hidróxido de potássio (AFC). O hidrogênio é forçado a passar por um eletrodo poroso de níquel (o ânodo), onde sofre redução pela reação com o íon OH^{1-} (aq) fornecido pelo hidróxido de potássio, KOH (aq), formando água conforme a equação 1:



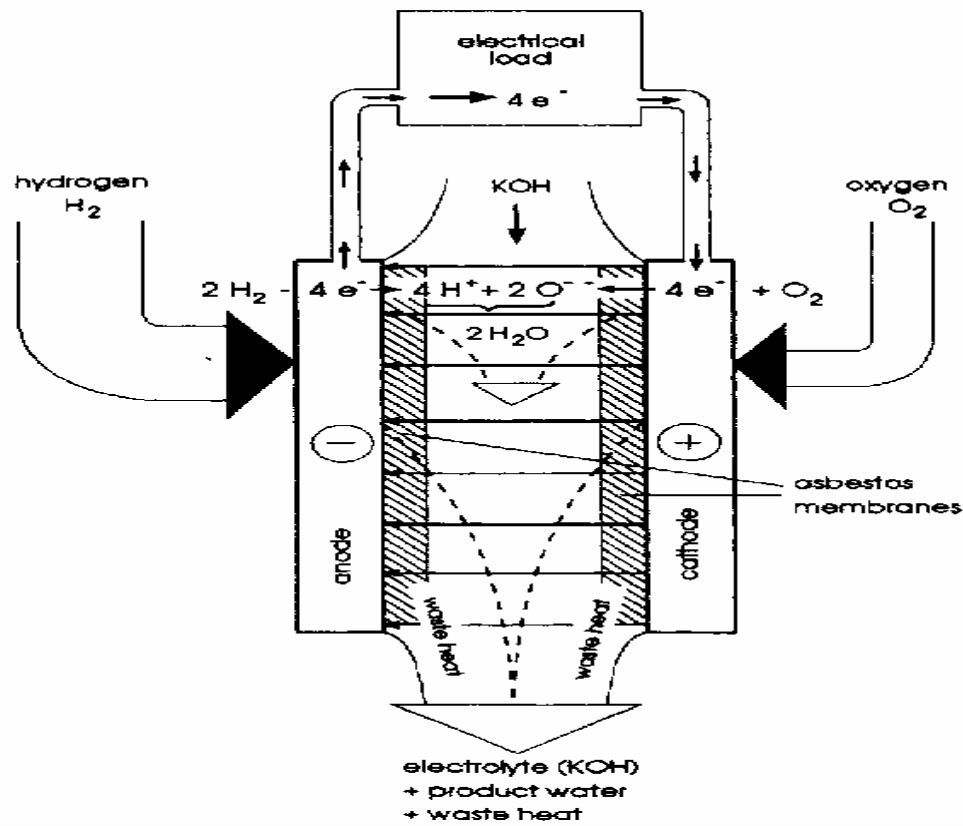
Reação no Cátodo, conforme a equação 2:



Assim, a reação global da célula é a combustão do hidrogênio feita com o oxigênio, formando água líquida, conforme a equação 3:



Figura 1 – Princípio de Funcionamento de Uma célula AFC



Fonte: DEPARTMENT OF ENERGY, 2004

Os microcontroladores são processadores autônomos, empregados em sistemas embarcados que necessitam do controle automatizado em que se aplica sensores e atuadores. São fáceis de usá-los e programá-los permitindo colocar a inteligência de um computador em qualquer coisa (HOROWITZ; HILL, 2017).

3. OBJETIVOS

Objetivos gerais:

O objetivo desse projeto é apresentar um sistema automatizado para produção de hidrogênio através de fonte renovável a fim de comprimir e armazenar para aplicações em motores à combustão interna e células de combustível.

Objetivos específicos:

- Calcular o tempo necessário para produzir uma determinada quantidade de hidrogênio em quilogramas.

- Calcular a potência necessária para produção de gás hidrogênio a partir de energia solar e o seu custo.
- Estudar o processo de geração de gás hidrogênio por eletrólise.
- Estudar a geração de eletricidade em células a combustível.

4. METODOLOGIA

4.1 Módulo fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são dispositivos constituídos por uma série de pilhas de silício de pureza extremamente elevada, na sua confecção o silício é cortado em lâminas e consecutivamente cada lâmina são dopadas com diferentes materiais, constituídos por fósforo ou boro. A lâmina que recebe o fósforo se transforma em um semicondutor do tipo-N e a que recebe o boro do tipo-P (FONSECA, 2010).

Dispositivos fotovoltaicos, ou células, são utilizados para transformar energia proveniente de radiação solar em energia elétrica, esse método de geração é uma fonte de energia renovável, porém, apresenta uma baixa eficiência energética. São utilizados em aplicações remotas, monitoramento remoto, iluminação, carregamento de bateria e em reatores de hidrogênio responsáveis por fazer a eletrólise da água (KALOGIROU, 2016).

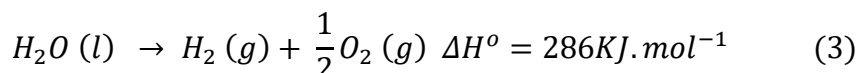
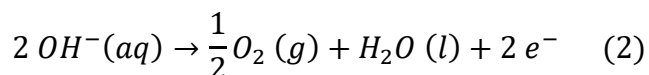
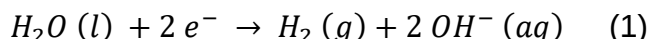
4.2 Eletrólise da água

A eletrólise da água e a decomposição da água em dois derivados de sua composição, hidrogênio e oxigênio no estado gasoso. Isso só é possível pela passagem de uma corrente elétrica através da água. Para promover a eletrólise a água é necessária energia elétrica, com a intenção de tornar o sistema sustentável é importante a adição de células fotovoltaicas, que serão responsáveis pela geração de eletricidade através da radiação solar (KALOGIROU, 2016).

Uma das principais aplicações do gás hidrogênio é nas células de combustíveis, que são dispositivos eletroquímicos que converte a energia química de um combustível, como hidrogênio, gás natural, metanol ou gasolina, e um oxidante, como ar ou oxigênio, em eletricidade. São geralmente empregadas em carros elétricos, residências, industriais e aplicações espaciais (KALOGIROU, 2016).

A eletrólise da água é a decomposição da água em dois derivados de sua composição, hidrogênio e oxigênio no estado gasoso (equação 6). No catodo, eletrodo negativo, ocorre a reação de redução do hidrogênio da água e formação de gás hidrogênio, H_2 (equação 4), no anodo, eletrodo positivo, ocorre a oxidação da

hidroxila e formação de gás oxigênio, O_2 (equação 5) conforme a equação abaixo. Isso só é possível pela passagem de uma corrente elétrica através da água.



4.3 Sensores utilizados no projeto

4.3.1 Sensor de temperatura

O sensor de temperatura DS18B20 possui funções, como filtros, reguladores e proteções. Além disso vem com um sistema integrado com parâmetros programáveis. Esse tipo de sensor incorpora funções programáveis que fazem com que esse tipo de dispositivo seja um verdadeiro transmissor inteligente de temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

4.3.2 Sensor de pressão

A maioria dos sensores de pressão são baseados no efeito piezorresistivo e utiliza quatro resistores ligados em ponte. Sob a ação de uma pressão, os quatro resistores se deformam, mas uma pressão em particular cujo eixo foi montado na membrana faz com que dois fiquem sobre pressão e dois em compressão, produzindo desbalanceamento da ponte e, consecutivamente, uma tensão de saída diretamente proporcional à pressão a que está sujeito (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

4.3.3 Analisadores de gases

Eles são utilizados para detectar vazamentos de gás em equipamentos da indústria e aplicações em geral. No projeto foi utilizado o sensor de gás MQ-8 que tem como característica alta sensibilidade para hidrogênio e baixa sensibilidade para álcoois. Além disso, é estável e apresenta uma longa vida de duração (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

4.3.4 Sensor de corrente

O sensor de corrente utilizado no projeto é baseado no efeito Hall. Os sensores de Hall são constituídos de dispositivos semicondutores que sofrem

influência de campo magnético. Por uma placa condutora passa a corrente e perpendicularmente tem-se um campo magnético, que faz gerar nas laterais da placa condutora uma diferença de potencial (Lei de Lorentz), o qual se conecta a um circuito de medição. Essa diferença de potencial chama-se tensão de Hall (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

4.4 Microcontrolador Atmel

No projeto foi utilizado a plataforma Arduino Atmega, no qual é responsável por interpretar os dados fornecidos pelos sensores e conforme as variáveis fornecidas, ele atua no processo do reator de hidrogênio através do PWM. O hardware do Arduino é composto por um microcontrolador Atmel AVR de 8 bits e uma interface de comunicação USB (Universal Serial Bus). O software é baseado em uma linguagem de programação C/C++ e do bootloader que roda no microcontrolador (MCROBERTS, 2015).

5. DESENVOLVIMENTO

O reator é baseado no processo de eletrólise convencional, no qual foi configurado em seis placas de aço inoxidável (liga 316L) dispostas alternadamente em 3 positivas e 3 negativas, além de placas de poliuretano. O sistema de controle foi desenvolvido com o microcontrolador Atmel e para o controle e monitoramento foram integrados uma Interface Homem Máquina (IHM), além de sensores de temperatura e de gás hidrogênio e dispositivos de segurança. No projeto foi empregado um módulo fotovoltaico de silício policristalino, com potência de 150 W e eficiência de 15,15%. Além disso, foi implementado um compressor com tensão de operação de 12 V e pressão de trabalho de 50 bar e um cilindro de armazenamento de volume de 7,2 L com pressão de armazenamento de 150 bar.

A Figura 2 está dividida em 5 partes onde a sequência foi determinada conforme as etapas do processo.

Figura 2 – Componentes do Projeto: (a) Placa fotovoltaica, (b) microcontrolador, (c) reator eletroquímico, (d) compressor e (e) cilindro de armazenamento.



Fonte: Autor, 2019.

O sistema é alimentado através da placa solar, conforme na Figura 2(a), onde consecutivamente é feito o controle de corrente por modulação de largura de pulso (PWM) apresentado na Figura 2(b). O PWM é controlado através da IHM de acordo com a demanda do reator eletroquímico da Figura 2(c). Alterando a corrente do reator é possível controlar a quantidade de gases produzidos. Os processos finais são o de compressão e armazenamento para a destinação final do hidrogênio, apresentadas respectivamente nas Figura 2(d) e Figura 2(e).

6. RESULTADOS PRELIMINARES

O método convencional da eletrólise utiliza-se uma solução eletrolítica como meio condutor iônico, pois a água pura não conduz eletricidade. Para estabelecer uma excelente eletrólise foram realizados ensaios para testar o funcionamento do reator com diferentes eletrólitos e associações de eletrodos. A utilização de hidróxido de potássio (KOH) demonstrou maior eficiência comparada ao hidróxido de sódio (NaOH), por apresentar uma corrente superior. Em todas as experiências feitas no laboratório com diferentes tipos de eletrólitos foi utilizada a concentração de 5,35 mol/L. A produção de hidrogênio com bicarbonato de sódio (NaHCO_3) não foi eficaz pois apresentou pouca corrente, a qual os testes comprovaram estar diretamente

relacionada à produção de gás hidrogênio. Na Tabela 1 abaixo são apresentados os resultados dos testes realizados.

Tabela 1 – Soluções eletrolíticas

Eletrólito	Conc. (mol/L)	Tensão (V)	Corrente (A)
KOH	5,35	12	1,09
NaOH	5,35	12	0,75
NaHCO ₃	5,35	12	0,04

Fonte: Autor, 2019.

A partir da produção de hidrogênio e oxigênio foram realizados testes de chama de ambos os produtos para comprovar se o reator de hidrogênio estava fazendo a separação correta dos gases.

7. CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

A princípio as primeiras etapas do projeto foram concluídas com êxito, o reator de hidrogênio foi capaz de gerar o hidrogênio e oxigênio separados, além disso, o circuito de PWM fez o controle adequado de corrente do reator sendo possível aumentar ou diminuir o fluxo de hidrogênio e oxigênio gerados. A aplicação das soluções eletrolíticas todas produziram hidrogênio e oxigênio, destacando o hidróxido de potássio que se mostrou mais eficaz. No estudo há necessidade de realizar aplicações do hidrogênio em motores à combustão e em células à combustível, para a obtenção de melhores resultados, no qual será demonstrado a diminuição de gases de efeito estufa gerados na queima de combustíveis fósseis com a aplicação do gás hidrogênio.

8. FONTES CONSULTADA

DEPARTMENT OF ENERGY (U.S). National Energy Technology Laboratory. **Fuel Cell Handbook**. 7. ed. Morgantown, West Virginia: EG&G Technical Services, Inc, 2004.

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química: meio ambiente, cidadania, tecnologia**. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010. v. 2.

Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025; Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **A arte da eletrônica**: circuitos eletrônicos e microeletrônica. Tradução: José Lucimar do Nascimento. 3. ed. rev. Porto Alegre: Bookman, 2017. 1192 p.

"The Future of Hydrogen", IEA ("International Energy Agency"), 2019, Disponível em: www.iea.org/publications/reports/thefutureofhydrogen/. Acesso em 16/09/2019.

KALOGIROU, Soteris A. **Engenharia de energia solar**: Processos e Sistemas. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 864 p.

MCROBERTS, Michael. Arduino Básico. 2. ed. rev. e aum. São Paulo: Novatec, 2015.

SOUZA, Mariana de Mattos Vieira Mello. Hidrogênio e células a combustível. Rio de Janeiro: Synergia, 2018. 244 p.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais**: Fundamentos e Aplicações. 8. ed. rev. e atual. São Paulo: érica, 2011.