

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO ATRAVÉS DE UMA FONTE RENOVÁVEL

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR GENERATING HYDROGEN GAS FROM A RENEWABLE SOURCE

João Batista da Silva<sup>1</sup>, José Humberto Machado Tambor<sup>2</sup>

**Resumo:** Diversas fontes de energia alternativa podem ser utilizadas para substituir os combustíveis fósseis, porém ela deve ser acessível, econômica e segura. O principal objetivo do estudo é o desenvolvimento de um sistema limpo de energia baseado na tecnologia do gás hidrogênio. Com bases em estudos e experimentos feitos em laboratório, foi desenvolvido um sistema de geração de hidrogênio e oxigênio através do processo de eletrólise da água, além disso, foi automatizada e implementada uma placa fotovoltaica na sua construção. O projeto inicial foi composto por uma placa fotovoltaica, controladores, reator de eletrólise, deionizador de água, compressor e cilindro para o 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. O reator de hidrogênio funcionou corretamente com a implementação do sistema de controle e a utilização de hidróxido de potássio como meio condutor iônico resultou em uma alta produção de gás hidrogênio.

**Palavras-chave:** Hidrogênio. Energia renovável. Célula fotovoltaica.

**Abstract:** Several sources of alternative energy can be used to replace fossil fuels, but it must be affordable, economical and safe. The main objective of the study is the development of a clean energy system based on hydrogen gas technology. Based on studies and experiments carried out in the laboratory, a hydrogen and oxygen generation system was

developed through the water electrolysis process. In addition, a photovoltaic plate was automated and implemented in its construction. The initial project was composed by a photovoltaic plate, controllers, electrolysis reactor, water deionizer, compressor and cylinder for the storage of hydrogen gas. The automation was developed with the Atmel microcontroller, in which sensors for monitoring hydrogen gas, electric current, pressure and a PWM drive were connected to control the reactor current. The information obtained through the sensors will be fundamental for the improvement and optimization of the hydrogen gas production process. The hydrogen reactor worked correctly with the implementation of the control system and the use of potassium hydroxide as an ionic conductive medium resulted in a high production of hydrogen gas.

**Keywords:** hydrogen. renewable energy. photovoltaic cell.

### I. INTRODUÇÃO

A energia é vital para a sociedade e a economia. Na atualidade o trabalho, lazer, e a vida social, todos dependem completamente da energia. Isso faz com que a demanda de energia cada vez aumente e as fontes de energia são provindas de uma grande parcela de energia de fontes ilimitadas.

Diversas tecnologias de ponta estão sendo desenvolvidas para possibilitar alternativas, uma tecnologia promissora é a geração de hidrogênio a partir de fontes renováveis. Dispositivos que convertem o hidrogênio em eletricidade conhecidas como células de hidrogênio estão cada vez mais

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário ENIAC. e-mail: [joao.maxxtro@hotmail.com](mailto:joao.maxxtro@hotmail.com)

<sup>2</sup>Doutor em Ciências, Professor e Pesquisador do NUPE no Centro Universitário ENIAC. e-mail: [jose.humberto@eniac.edu.br](mailto:jose.humberto@eniac.edu.br)

eficientes e estão atraindo a atenção de autoridades privadas e governamentais, viabilizando mais investimentos e aplicações em diversos setores (EUROPEAN COMMISSION, 2003).

O atual consumo de energia está crescendo junto com a demanda por combustíveis fósseis, no qual vem ocasionando o esgotamento dessas fontes limitadas. A poluição ambiental também está aumentando com o consumo de combustíveis fósseis, além disso, está afetando a saúde dos seres vivos na terra. Em todo mundo, governos estão elaborando metas para diminuir os níveis de emissão de gases de efeito estufa para conter os efeitos climáticos. No final de 2016, 116 dos 196 países tinham assinado um acordo COP21 de Paris e se comprometeram a tomar ações para manter o aquecimento global abaixo de 2°C. A meta proposta é ambiciosa, no qual, exigirá a redução de emissões globais anuais de gases em 85% até 2050 (BRANDON; KURBAN, 2017).

O hidrogênio tem sido amplamente reconhecido como um transportador de energia alternativo em que engloba as três principais preocupações, que visa segurança energética, questões ambientais e pico de demanda energética. A atividade de transporte global está projetada para dobrar até 2050, a menos que mudanças comportamentais ou novas medidas sejam introduzidas. O transporte é responsável por quase um quarto do CO<sub>2</sub> relacionado com a energia global. Em 2012, o transporte rodoviário foi responsável por 75% de todas as emissões de transporte, portanto, este segmento de transporte está cada vez mais sujeito a regulamentações de emissões. Além disso, a utilização de combustíveis derivados do petróleo é responsável por uma quantidade significativa de poluição do ar, que se estima ter causado 6,5 milhões de mortes prematuras em 2012 (BRANDON; KURBAN, 2017).

O hidrogênio pode ser produzido a partir de fontes renováveis como, por exemplo, através da energia solar ou do vento por meio da eletrólise da água. Para o hidrogênio ser considerado um transportador de energia ideal tem que unir algumas

características. Isso inclui um sistema relativamente eficiente, na conversão de hidrogênio em energia elétrica. Na economia, eletricidade e hidrogênio podem ser produzidos em larga escala a partir de fontes de energia disponíveis e podem ser utilizados em todas as aplicações onde os combustíveis fósseis estão presentes (EUROPEAN COMMISSION, 2003).

## II. REFERENCIAL TEÓRICO

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 fontes de energia limpas (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 continue 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 que provocam o efeito estufa. Apesar de diversas medidas para diminuir a poluição do ar, em 2018 a emissão de CO<sub>2</sub> 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 a energia fotovoltaica (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 de 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 0,03 m<sup>3</sup>/h a 100.000 m<sup>3</sup>/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 de reduzir o consumo de eletricidade e também membranas resistentes (SOUZA, 2018).

Com o aumento do interesse no hidrogênio para ser utilizado como uma fonte de combustível, empresas desenvolveram protocolos de segurança abrangendo requisitos necessários para manuseá-los. Alguns requisitos incluem ventilação, isolamento (barreira de gás e fogo), requisitos elétricos, aterramento, controle de explosão e detecção. Assim como a segurança dos outros gases é a do gás hidrogênio, é necessário reconhecer perigos e definir medidas para contê-los, deve garantir a integridade do sistema, fornece ventilação adequada para evitar o acúmulo de gás, garantir que vazamentos sejam detectados e a presença de uma equipe capacitada (BARILO, 2015).

Existem quatro diferentes métodos de armazenamento de hidrogênio, pode ser armazenado no estado líquido, em alta pressão, no estado sólido e no estado sólido poroso de absorção molecular do hidrogênio. Os dois primeiros métodos já estão bem avançados em pesquisa e no desenvolvimento, entretanto os dois últimos métodos ainda necessitam de pesquisas para um melhor aproveitamento (MURTHY, 2016).

Projetos de utilização de energia provinda do hidrogênio foram desenvolvidos há quase quatro décadas como uma solução permanente para os

problemas globais inter-relacionados do esgotamento dos combustíveis fósseis e os problemas ambientais causados por sua utilização. Diversos tipos de células de combustível foram desenvolvidos para transformação eficiente de hidrogênio em eletricidade, bem como calor e água (MURTHY, 2016).

O hidrogênio tem uma faixa ampla de inflamabilidade, de 4% a 74% de concentração no ar e 4% a 94% em oxigênio. Portanto é de extrema importância não misturar o ar ou oxigênio com o hidrogênio dentro de espaços confinados. Além disso, o hidrogênio requer apenas 0,02 mJ de energia para acender a mistura de hidrogênio-ar, que é apenas 7% da energia necessária para acender o gás natural (RHODES, 2011).

A produção de hidrogênio através da eletrólise da água é uma tecnologia antiga, baseada em um simples processo, é muito eficiente, e não envolve muitas partes. Pode ser produzido em grandes escalas e a eficiência típica está entre 72-82%. Diversos tipos de eletrolisadores com diferentes tipos de tecnologias estão sendo desenvolvidos como por exemplo a avançada célula alcalina com novos materiais e eletrodos que podem fornecer eficiência de até 90% (BRANDON; KURBAN, 2017).

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto se iniciou por meio de levantamento bibliográfico, no qual foi levado a diversas técnicas de produção de hidrogênio e dentre as quais foi definida a mais adequada para ser desenvolvida no laboratório com bases na infraestrutura e nos recursos disponíveis.

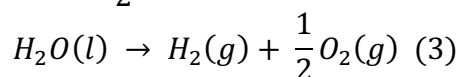
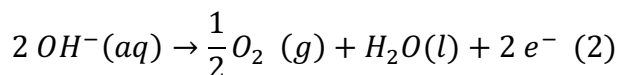
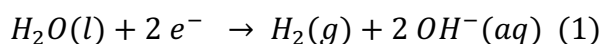
A partir dos estudos determinou-se que seria construído um reator, desenvolvido pelo software de desenho técnico Fusion 360° da AutoCAD, onde foram determinadas as medidas de confecção e os materiais a serem utilizados. No projeto foi elaborado um sistema de controle composto por um microcontrolador Atmel, além disso, sensores, atuadores, display, teclado matricial e conectores.

Para a alimentação dos sistemas foi utilizado um painel fotovoltaico (HOROWITZ; HILL, 2017)

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).

Uma das principais aplicações do gás hidrogênio é nas células de combustível, que são dispositivos eletroquímicos que convertem a energia química de um combustível, como hidrogênio, gás natural, metanol ou gasolina, na presença de um oxidante, como ar ou oxigênio, em eletricidade. São geralmente empregadas em carros elétricos, residenciais, 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. Os eletrodos são constituídos de aço inoxidável liga 316L com 6 unidades presentes na célula. No cátodo, eletrodo negativo, ocorre a reação de redução do hidrogênio da água e formação de gás hidrogênio,  $H_2$  (1), no ânodo, eletrodo positivo, ocorre a oxidação da hidroxila e formação de gás oxigênio,  $O_2$  (2) conforme as equações abaixo (incluindo a equação geral (3)). Isso só é possível pela passagem de uma corrente elétrica através da água (KALOGIROU, 2016).



Para monitoramento do reator e do sistema de PWM foi utilizado sensores de temperatura DS18B20, no qual possui funções, como filtros,

reguladores e proteções. Além disso, vem com um sistema integrado com parâmetros programáveis. No controle de pressão foi utilizado o sensor de pressão MPX2010, ele é baseado no efeito piezo resistivo 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 (FONSECA, 2010).

No sistema de proteção foram implementados sensores de gás de hidrogênio e corrente, em que 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. O sensor de corrente utilizado é baseado no efeito Hall. Os sensores de Hall são constituídos de dispositivos semicondutores que sofrem influência de campo magnético (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Na automatização foi utilizada 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).

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 é mostrado com mais detalhes o protótipo montado, com as devidas conexões dos sistemas. O painel foi montado em uma caixa de proteção Patola, onde dentro da caixa está o Arduino, circuito PWM, sensores de corrente, sensor de pressão e os demais circuitos.

Figura 1 – Protótipo para a geração do hidrogênio.



Fonte: Autor, 2020.

Na Figura 2 vemos os detalhes do reservatório da solução eletrolítica, bateria para armazenamento da energia fotovoltaica e o painel de comando.

Figura 2 – Painel de comando e reator.

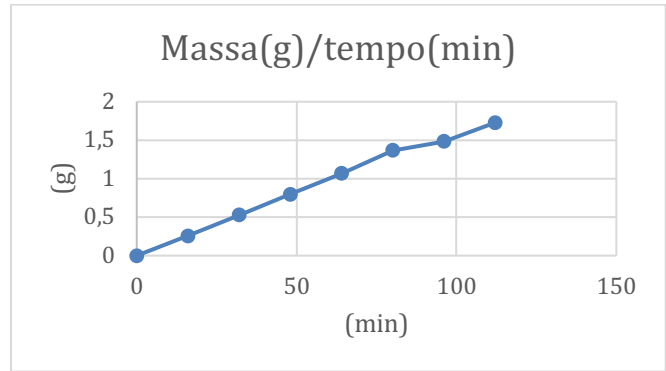


Fonte: Autor, 2020.

A Figura 3 mostra o gráfico de massa de hidrogênio em relação ao tempo, com esses dados foi possível determinar a média de produção que é de 0,9674 g/h. A corrente do reator foi mantida

constante em 3,5A e a tensão elétrica em 12 V.

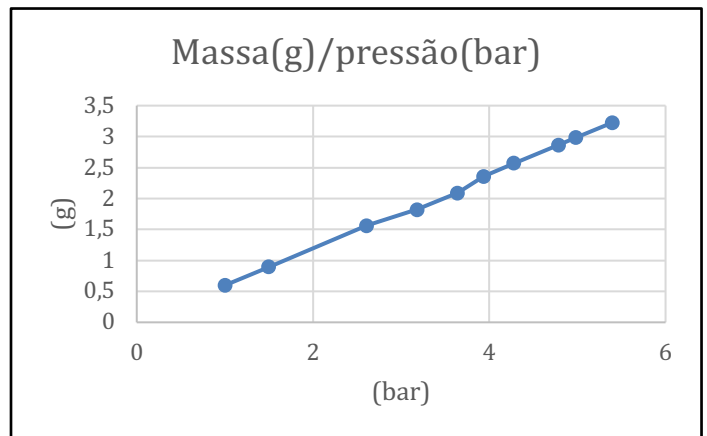
Figura 3 – Gráfico da massa em relação ao tempo.



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 4 mostra a massa do hidrogênio em relação a pressão, nessas condições a temperatura estava em 18,5°C e a corrente em 3,5A e 12V. Os dados foram calculados através da fórmula dos gases perfeitos.

Figura 4 – Gráfico massa em relação à pressão.



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 5 mostra o deionizador utilizado para produzir a água com baixíssima condutividade para ser utilizada no projeto.

Figura 5 – Montagem do projeto



Fonte: Autor, 2020.

A Tabela 1 apresenta a análise feita na água depois do processo de deionização da água.

Tabela 1 – Análise da água deionizada

Condutividade da água da torneira	Condutividade da água deionizada
0,0086 uS/cm	0,0004 uS/cm

Fonte: Autor, 2020

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 apresentamos a opção de realizar aplicações do hidrogênio em motores à combustão e em células à combustível, para a obtenção de resultados como redução do consumo e melhoria de emissão. Entendemos que esta tecnologia deverá ser explorada mais amplamente com intensificação no combate das emissões excessivas de gases de efeito estufa pois, além das sugestões apresentadas, o potencial de aplicação é muito maior.

## VI. REFERÊNCIAS

BARILLO, Nick. **Safety Considerations for Hydrogen and Fuel Cell Applications**. Hydrogen Safety Panel, Long Beach, CA, p. 1-67, 29 set. 2015. E-book.

BRANDON, N. P.; KURBAN, Z. **Clean energy and the hydrogen economy**. Phil.Trans.R.Soc. A375:20160400., [s. l.], 6 jan. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0400>. Acesso em: 09/08/2021.

EUROPEAN COMMISSION. **High Level Group. Hydrogen energy and fuel cells: A vision of our future**. RTD info, Bélgica, p. 1-36, 20 mar. 2003. E-book.

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

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

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **The Future of Hydrogen**, 2019, Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen/>. Acesso em 09/08/2021.



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.

MURTHY, Srinivasa; *et al.* **Report on hydrogen storage and application other than transportation**. Steering Committee on Hydrogen Energy and Fuel Cells Ministry of New and Renewable Energy, Government of India, New Delhi June, appendix-v, 2016. Disponível em: <https://www.eqmagpro.com/wp-content/uploads/2016/10/Annexure-V-Report-on-Hydrogen-Storage.pdf> Acesso em: 09/08/2021.

RHODES, Russel. **Lições explosivas em segurança de hidrogênio**. ASK Magazine, [S. l.], p. 46-50, 2 fev. 2011. Disponível em: <https://appel.nasa.gov/2011/02/02/explosive-lessons-in-hydrogen-safety/>. Acesso em: 09/08/2021.

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.