

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA MECÂNICA 2**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**  
**JOÃO DALLAMUTA**  
(ORGANIZADORES)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA MECÂNICA 2**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**  
**JOÃO DALLAMUTA**  
(ORGANIZADORES)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-582-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.829212810>

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.  
CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica, materiais e automação, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se ainda estabelecer que estas características levam a alterações quase que imediatas no projeto, sendo uma modificação constante na busca por melhores respostas e resultados.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **EFICIÊNCIA E CONSUMO ENERGÉTICO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA NO SETOR AUTOMOTIVO BRASILEIRO**

Rafael Guimarães Oliveira dos Santos

Aloísio Santos Nascimento Filho


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128101>

### **CAPÍTULO 2..... 8**

#### **ANÁLISE COMPARATIVA DOS TIPOS DE ÁGUA E ELETRÓLITOS DE UM GERADOR DE HIDROGÊNIO PARA UM VEÍCULO CONVENCIONAL**

Thiago Gonçalves de Oliveira

Fábio Luís Figueiredo Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128102>

### **CAPÍTULO 3..... 19**

#### **A REVIEW ON ITERATIVE AND SERIES SOLUTIONS FOR KEPLER'S EQUATION**

Paula Cristiane Pinto Mesquita Parda


Mariana Pereira de Melo

João Francisco Nunes de Oliveira

Leonardo de Oliveira Ferreira

Pedro Novak Nishimoto

Roberta Veloso Garcia


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128103>

### **CAPÍTULO 4..... 36**

#### **A-CAES (ADIABATIC COMPRESSOR AIR ENERGY STORAGE): APARATO EXPERIMENTAL EM ESCALA LABORATORIAL**

Roberto Sihnel

Thiago Antonini Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128104>

### **CAPÍTULO 5..... 51**

#### **LA IMPORTANCIA DE LA FACTORIZACIÓN EN LA INGENIERÍA MECÁNICA PARA DETERMINAR LA ALTURA MÁXIMA DE PRESIÓN EN LAS TURBOBOMBAS**

Juan Antonio Tena Verdejo


Francisco Santiago Gabino

Sandra Zulema Tena Galván

Víctor Francisco Cortes Ávila

José Salvador

Oropeza Ramírez


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128105>

### **CAPÍTULO 6..... 59**

#### **MODELO MATEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DEL**

## ÁLABE DE UN IMPULSOR CERRADO DE LAS TURBO BOMBAS


Juan Antonio Tena Verdejo  
Francisco Santiago Gabino  
Sandra Zulema Tena Galván  
Victor Francisco Cortes Ávila

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128106>

### **CAPÍTULO 7..... 68**

#### PROJETO DE TÚNEL DE VENTO DE BAIXA VELOCIDADE


Arthur de Lima Queiroga  
Rhander Viana  
Olexiy Shynkarenko

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128107>

### **CAPÍTULO 8..... 79**

#### ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN MECANISMO DE SCOTCH-YOKE A TRAVÉS DE LA INTERFAZ SOLIDWORKS-MATLAB


Javier Guevara Rivera  
Adolfo Manuel Morales Tassinari  
María Esperanza Velasco Ordóñez  
Carlos Efrén Jiménez Acosta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128108>

### **CAPÍTULO 9..... 88**

#### COMPARATIVO ENTRE UM OSSO COM PROPRIEDADES MECÂNICAS ISOTRÓPICAS E ORTOTRÓPICAS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS EM UMA FRATURA


Igor Emanuel Espindola Loureiro  
Celso Júnio Aguiar Mendonça  
Ivan Moura Belo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128109>

### **CAPÍTULO 10..... 100**

#### ANALYSIS OF DELAY COMPENSATION METHODS IN HARDWARE-IN-THE-LOOP TESTS


Eduardo Moraes Coraça  
Janito Vaqueiro Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.82921281010>

### **CAPÍTULO 11..... 113**

#### METODOLOGIA SEIS SIGMA: APLICAÇÃO NUMA EMPRESA DE ROLHAS METÁLICAS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Edry Antonio Garcia Cisneros  
Daniel Guzmán del Río  
Israel Gondres Torné  
Vitor Hugo Machioly

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.82921281011>

**CAPÍTULO 12..... 127**


**PROPOSAL OF AN ELECTRONIC BRACELET DEVICE FOR THE MEASUREMENT OF VITAL SIGNS**

Eliel Eduardo Montijo-Valenzuela

Elvis Osiel Covarrubias-Burgos

Darío Soto-Patrón

Esthela Fernanda Torres-Amavizca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.82921281012>

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 137**

# CAPÍTULO 2

## ANÁLISE COMPARATIVA DOS TIPOS DE ÁGUA E ELETRÓLITOS DE UM GERADOR DE HIDROGÊNIO PARA UM VEÍCULO CONVENCIONAL

*Data de aceite:* 01/10/2021

*Data de submissão:* 16/09/2021

### Thiago Gonçalves de Oliveira

Centro Universitário de Itajubá – FEPI,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Itajubá – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/2173664097670141>

### Fábio Luís Figueiredo Fernandes

Centro Universitário de Itajubá – FEPI,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Itajubá – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7102484512884604>

**RESUMO:** Alternativas para produção de energia limpa e redução no consumo de combustível são constantemente estudadas, com o intuito de aprimorar a eficiência energética e a diminuição na emissão de poluentes. Portanto, foi desenvolvido um estudo de rendimento na geração de hidrogênio para um automóvel, a qual será obtida através da eletrólise. O objetivo deste trabalho é verificar quais tipos de soluções apresentam melhor eficiência na geração do hidrogênio, mediante testes com conjunto comercial automotivo e análise de dados experimentais. Com os resultados obtidos, pôde-se constatar que tanto a água residencial quanto a mineral, adicionadas de hidróxido de potássio, apresentaram bom fluxo de gás através da medição do fluxômetro. A vazão mensurada no sistema corresponde aos requisitos mínimos para redução no consumo de combustível e na

liberação de gases poluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração de hidrogênio, energia limpa, eletrólise, eletrólitos, tipos de água.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF WATER AND ELECTROLYTE TYPES OF A HYDROGEN GENERATOR FOR A CONVENTIONAL VEHICLE

**ABSTRACT:** Alternatives are being studied for the production of clean energy and reduction in fuel consumption, with the objective of improving energy efficiency and decrease the emission of pollutants. Therefore, a study of the yield in the generation of hydrogen for an automobile was developed, which will be obtained through electrolysis. The objective of this work is to verify which solutions present better efficiency in the generation of hydrogen, through tests with a commercial automotive kit and analysis of experimental data. With the results obtained, it was possible to verify that residential and mineral water, added to potassium hydroxide, presented good gas flow in the flowmeter measurement. The system's flow rate meets the minimum requirements for reducing fuel consumption and decreasing polluting gases.

**KEYWORDS:** Hydrogen generation, clean energy, electrolysis, electrolytes, water types.

## 1 | INTRODUÇÃO

É de suma importância a preocupação com questões relacionadas à sustentabilidade e que não poluam o meio ambiente. Os automóveis,

através da combustão, aumentam a concentração de gases que provocam o efeito estufa. Com esse fator, surge a necessidade de se desenvolver formas de obter energia limpa e que não prejudicam o meio ambiente. Uma das opções é através da geração de hidrogênio para veículos convencionais, que diminuirá a injeção de combustível feita pelo motor e consequentemente reduzirá os gases poluentes emitidos.

A geração de hidrogênio é atualmente uma forma alternativa de energia em grande desenvolvimento (Glenk e Reichelstein, 2019) e, devido a esse fato, têm-se a importância de estudos relacionados à sua geração e dos meios para sua utilização (Ibrahin, 2014). Mundialmente, a produção anual de hidrogênio é de cerca de  $5 \times 10^{11} \text{ Nm}^3$ , a qual corresponde a 2% da demanda de energia primária (Veras, 2015). Somado a esses fatores, de acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE (2010), o Brasil, por exemplo, investiu em tecnologias do hidrogênio, entre 1997 e 2007, cerca de R\$ 134 milhões.

Ademais, Wollmann (2013) ressalta que o hidrogênio possui a maior taxa de energia por unidade de massa se comparado com demais combustíveis, o que significa que sua queima possui um grande aproveitamento do seu poder calorífico.

A eletrólise, juntamente com a reforma a vapor do etanol, reforma do gás natural e a gaseificação da biomassa, é considerada como uma das principais formas de obtenção do hidrogênio (Veras, 2015; Anantharaj *et al.*, 2018). Aplicada neste trabalho, a eletrólise da água consiste na quebra da molécula de hidrogênio em dois elementos:  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  (Fig. 1). O processo ocorre por meio da passagem de uma corrente elétrica através da solução aquosa, ionizando as partículas. Esta solução, por si só, não permite a passagem elétrica com facilidade, sendo necessário adicionar um eletrólito para a realização da quebra da molécula de forma mais eficiente.

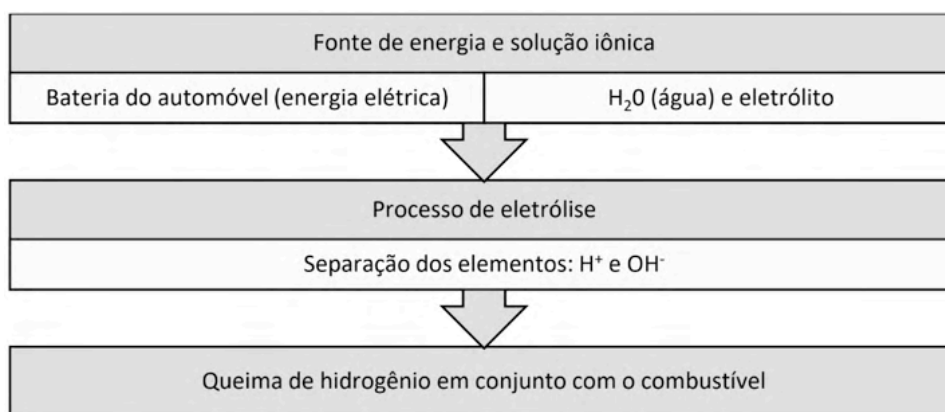


Figura 1 – Geração de hidrogênio para um veículo convencional através da eletrólise da água.

A solução com substâncias diluídas na água, sejam sais, ácidos ou bases, é denominada solução iônica. Contudo, pode-se encontrar eletrólitos sólidos e também gasosos (Marques,

2015). A água com um sal solúvel, por exemplo, tendo a passagem da corrente elétrica, permite a quebra da ligação química entre os átomos de hidrogênio e oxigênio, separando-os. A separação atômica produz íons, que são partículas carregadas eletricamente.

A geração de hidrogênio através da eletrólise, para ser utilizada nos veículos, surgiu como um tema a ser estudado e analisada a sua viabilidade para redução da emissão de poluentes e, por conseguinte, diminuir a poluição do ar.

Com os fatores apresentados, tem-se a possibilidade de redução no consumo de combustível, utilizando-se da queima e utilização imediata do gás, não sendo necessário um tanque de gás como reservatório e contribuindo para a segurança do sistema.

Através das diferentes soluções para realização da eletrólise, neste trabalho será analisado qual o melhor composto para geração de hidrogênio, juntamente com os tipos de água.

## 2 | METODOLOGIA

As medições de alta condutividade são realizadas quando as amostras são soluções aquosas, sendo amplamente concentradas em sais, ácidos ou bases (Radiometer Analytical SAS, 2004). Além disso, a condutividade depende parcialmente do pH (medida da concentração de íons H<sup>+</sup> na água), da temperatura e da quantidade de dióxido de carbono atmosférico, que foi dissolvido na água para formar íons.

Entre os cinco tipos analisados, a que apresenta o mais alto índice de condutividade é a água salgada, por conter em sua composição química 3,5% de sais. O valor de condutividade deste tipo de água é de 42.896 mS/cm (micro-Siemens por centímetros), em uma temperatura de 15 °C (Radiometer Analytical SAS, 2004). Os demais tipos de água que foram analisados são: deionizada, residencial, destilada e mineral.

O conjunto de geração de hidrogênio automotivo foi preparado em laboratório para análise de seu rendimento. Como apresenta a Figura 2, o conjunto possui uma célula de geração de hidrogênio, um reservatório e tubos para o transporte do líquido e do gás.

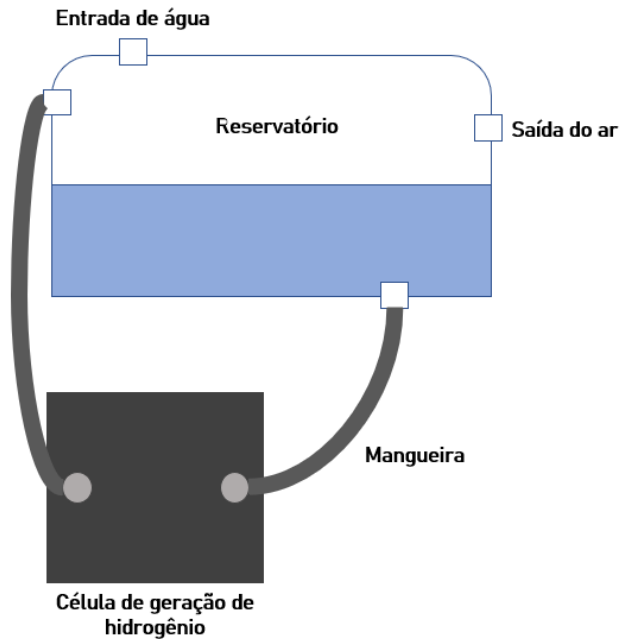


Figura 2 – Conjunto comercial automotivo de geração de hidrogênio.

Para a realização do experimento, utilizou-se 500 ml de água no reservatório e 500 ml para dissolver a substância em outro utensílio. Inicialmente, foram colocadas 7 g da substância na água. Após a dissolução, a mistura foi colocada no reservatório para funcionamento da célula de geração. Posteriormente, acrescentou-se mais 5 g da substância, a fins de comparação.

Como a eletrólise depende da passagem de corrente elétrica, utilizou-se uma fonte de energia de 12 V de corrente contínua para simular a bateria de um veículo convencional. A quantidade de energia elétrica que passa pelo sistema foi aferida através de um multímetro.

A quebra de molécula da água ( $H_2O$ ), obtida com a passagem da corrente elétrica, separa os átomos de  $H^+$  e  $OH^-$ . Após a quebra, o gás passa por um filtro para retirada de possíveis impurezas e em seguida pelo fluxômetro, indicando o nível de vazão do gás.

O fluxômetro (PROTEC) utilizado para medir o fluxo de ar é aprovado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). Esse dispositivo possui válvula para regulação, esfera flutuadora de aço inoxidável e escala graduada de 0 a 15 l/min.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise de diferentes tipos de água

Para a verificação do rendimento na produção de hidrogênio em relação aos

diferentes tipos de água, os testes em laboratório apresentaram os resultados dados a seguir. Em primeiro instante, no teste com água residencial, foram utilizadas 7 g de hidróxido de potássio. A temperatura inicial da água era de 32,0 °C. Com o funcionamento do conjunto experimental, a corrente elétrica apresentou 4,9 A, enquanto o nível de vazão variou entre 2 e 3 l/min. A temperatura final no reservatório estava em 33,0 °C. Logo em sequência, na segunda parte do teste com água residencial, acrescentou-se 5 g de hidróxido de potássio, resultando assim em 12 g utilizadas. Foram feitas as seguintes medições: 5,5 A de corrente elétrica e nível de vazão entre 3,5 a 4 l/min. A temperatura final do sistema foi de 33,5 °C. O resumo dos dados é apresentado na Tabela 1.

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m³x10-5/s)
32,0	7 g de hidróxido de potássio	4,9	33,0	3,33 a 5,00
33,0	12 g de hidróxido de potássio	5,5	33,5	5,83 a 6,67

Tabela 1 – Resultados dos testes realizados com água residencial.

A água mineral foi o segundo tipo utilizado no experimento, com temperatura de 27,1 °C. Para 7 g iniciais de hidróxido de potássio, a corrente elétrica do sistema foi de 4,3 A, enquanto a temperatura final indicou 28,9 °C. O nível de vazão, através do fluxômetro, apresentou valor de 4,5 l/min.

Para 12 g de hidróxido de potássio, a água mineral obteve aumento nos valores de corrente elétrica, temperatura e vazão. A Tabela 2 demonstra os resultados obtidos:

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m³x10-5/s)
27,1 °C	7 g de hidróxido de potássio	4,3 A	28,9 °C	7,50
28,9 °C	12 g de hidróxido de potássio	4,7 A	32,3 °C	8,33

Tabela 2 – Resultados dos testes realizados com água mineral.

O terceiro teste foi realizado com água salgada em três instantes: No primeiro momento, não foi acrescido hidróxido de potássio na água, devido aos sais presentes na sua composição. Dessa forma, apresentou corrente elétrica de 1,6 A, temperatura final em 23,1 °C e nível de vazão de 4 l/min.

Após essa etapa, no segundo instante acrescentou-se uma quantidade de 7 g de



hidróxido de potássio. Os resultados obtidos foram os seguintes: a corrente elétrica que passava no sistema, medida por um multímetro, foi de 3,5 A, enquanto que a temperatura aumentou para 24,3 °C. O nível de vazão resultou entre 4 e 4,5 l/min.

A Tabela 3 apresenta os dados do experimento:

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m <sup>3</sup> x10 <sup>-5</sup> /s)
22,3	-	1,6	23,1	6,67
23,1	7 g de hidróxido de potássio	3,5	24,3	6,67 a 7,50
24,3	12 g de hidróxido de potássio	4,4	24,7	6,67

Tabela 3 – Resultados dos testes realizados com água salgada.

Para água destilada com 19,2 °C, os dados do experimento são apresentados da seguinte forma na Tabela 4:

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m <sup>3</sup> x10 <sup>-5</sup> /s)
19,2	7 g de hidróxido de potássio	4,5	26,3	4,17 a 5,00
26,3	12 g de hidróxido de potássio	5,2	32,9	3,33

Tabela 4 – Resultados dos testes realizados com água destilada.

O último teste, utilizando-se água deionizada à 18,5° C, indicou corrente de 4,9 A no primeiro instante do funcionamento do conjunto. A temperatura final no reservatório foi medida em 27,2 °C e nível de vazão através do fluxômetro apresentou cerca de 2,5 a 3 l/min. A Tabela 5 demonstra os resultados obtidos do experimento com 7 e 12 g de substância.

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m <sup>3</sup> x10 <sup>-5</sup> /s)
18,5	7 g de hidróxido de potássio	4,9	27,2	4,17 a 5,00
27,2	12 g de hidróxido de potássio	5,3	29,1	5,00 a 5,83

Tabela 5 – Resultados dos testes realizados com água deionizada.

### 3.2 Análise de substâncias e temperaturas

A próxima etapa refere-se ao estudo das substâncias químicas, os eletrólitos, para a realização da eletrólise na água. Conforme Chang e Goldsby (2013), a solubilidade pode ser definida como a quantidade máxima de soluto a ser dissolvida em um solvente, a determinada temperatura. A Tabela 6 apresenta a solubilidade (em g/l) de substâncias consideradas para a realização dos experimentos.

Substância	Solubilidade
Bromato de sódio	364 g/l a 20 °C
Brometo de cálcio	1420 g/l a 30 °C
Carbonato de potássio	1120 g/l a 20 °C
Cianeto de sódio	580 g/l a 20 °C
Cloreto de cálcio	740 g/l a 20 °C
Cloreto de magnésio	542 g/l a 20 °C
Cloreto de sódio	358 g/l a 20 °C
Dicloreto de cobre	620 g/l a 20 °C
Dicromato de sódio	2355 g/l a 20 °C
Hidróxido de potássio	1130 g/l a 20 °C
Hidróxido de sódio	1090 g/l a 20 °C
Nitrato de prata	2160 g/l a 20 °C
Sulfato de cálcio	2,4 g/l a 20 °C
Sulfato de cobre	203 g/l a 20 °C

Tabela 6 – Substâncias químicas e respectiva solubilidade.

Fonte: Dados de IFA (Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance), 2021.

Por fim, foram selecionados conforme facilidade de obtenção, custo e solubilidade: sulfato de cobre, hidróxido de sódio, carbonato de potássio e hidróxido de potássio.

Verificou-se os resultados para sulfato de cobre dissolvido em água residencial, o qual resultou em um fluxo nulo de gás, seja para 7 ou 12 g da substância (Tabela 7).

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m <sup>3</sup> x10 <sup>-5</sup> /s)
22,8	7 g de sulfato de cobre	1,7	23,8	-
23,8	12 g de sulfato de cobre	4,3	25,8	-

Tabela 7 – Resultados dos testes realizados com sulfato de cobre e água residencial.

No segundo momento foi utilizado hidróxido de sódio para o experimento com água

residencial. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos.

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m <sup>3</sup> x10 <sup>-5</sup> /s)
23,2	7 g de hidróxido de sódio	4,2	32,2	2,50 a 3,33
24,8	12 g de hidróxido de sódio	4,7	30,1	2,50 a 3,33

Tabela 8 – Resultados dos testes realizados com hidróxido de sódio e água residencial.

Para o teste com carbonato de potássio, 7 g da substância apontou fluxo insignificante de gás, enquanto que com 12 g o fluxômetro apresentou entre 0,5 a 0,8 l/min. Pode-se observar pela Tabela 9 que o máximo de corrente elétrica utilizada no sistema foi de 3,3 A e o ganho de temperatura também foi baixo.

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m <sup>3</sup> x10 <sup>-5</sup> /s)
24,5	7 g de carbonato de potássio	2,3	25,6	Quase nula
25,6	12 g de carbonato de potássio	3,3	27,2	0,83 - 1,33

Tabela 9 – Resultados dos testes realizados com carbonato de potássio e água residencial.

Após a realização do experimento com água residencial, foi feita a análise das substâncias quando diluídas em água mineral. Foram utilizados carbonato de potássio e hidróxido de sódio.

O primeiro teste com água mineral e 7 g de carbonato de potássio apresentou vazão quase nula, enquanto que cerca de 40 g da substância foram necessárias para gerar um fluxo de 1,5 l/min (Tabela 10).

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m <sup>3</sup> x10 <sup>-5</sup> /s)
26,4	7 g de carbonato de potássio	1,8	26,5	Quase nula
26,5	40 g de carbonato de potássio	3,5	30,1	2,50

Tabela 10 – Resultados dos testes realizados com carbonato de potássio e água mineral.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para a diluição de hidróxido de sódio em água mineral. Verificou-se que o nível de vazão de gás foi semelhante à sua utilização com água residencial, de no máximo 2 l/min.

Temperatura inicial (°C)	Substância e sua quantidade	Corrente elétrica (A)	Temperatura no reservatório (°C)	Nível de vazão (m <sup>3</sup> x10 <sup>-5</sup> /s)
25,8	7 g de hidróxido de sódio	3,9	30,6	2,50 a 3,33
26,5	12 g de hidróxido de sódio	4,8	32,1	2,50

Tabela 11 – Resultados dos testes realizados com hidróxido de sódio e água mineral.

Por fim, foi realizado um teste com água residencial e 12 g de hidróxido de potássio. Durante 50 minutos o conjunto esteve em funcionamento para serem analisados os parâmetros de temperatura, corrente elétrica e fluxo de gás.

A temperatura inicial da água era de 32,1 °C. Com 10 minutos de operação, subiu para 34,1 °C. Após o início, a temperatura teve pouca variação até o final do teste. Com 50 minutos, o reservatório do sistema estava com 35,4 °C, tendo uma variação de apenas 3,3 °C entre temperatura inicial e final, de acordo com a Fig. 3.

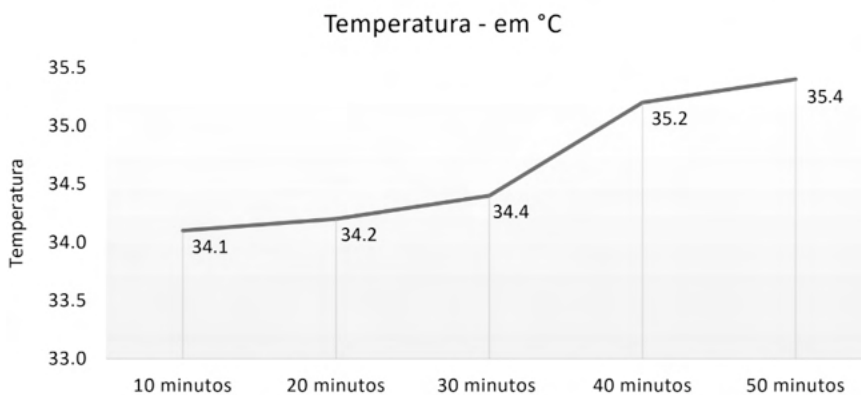


Figura 3 – Resultado do teste realizado com hidróxido de potássio e água residencial.

Com 10 minutos de funcionamento do conjunto, o sistema apresentou corrente elétrica de 4,6 A. Após 40 minutos, a corrente baixou para 4,2 A e se manteve constante até o final do teste (Fig. 4).

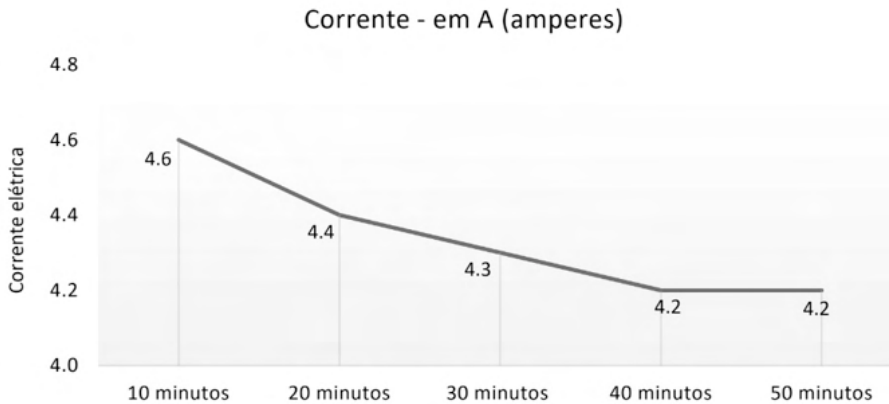


Figura 4 – Resultado do teste realizado com hidróxido de potássio e água residencial.

Correspondendo aos testes realizados anteriormente com água residencial e hidróxido de potássio, o fluxômetro apresentou cerca de 5 l/min com 10 minutos de funcionamento do sistema. Com 20 minutos, a vazão baixou para 4,5 l/min e continuou constante até 40 minutos do experimento. A última medição mostrou que o fluxo de gás estava com 4 l/min.

A Fig. 5 apresenta os resultados obtidos:

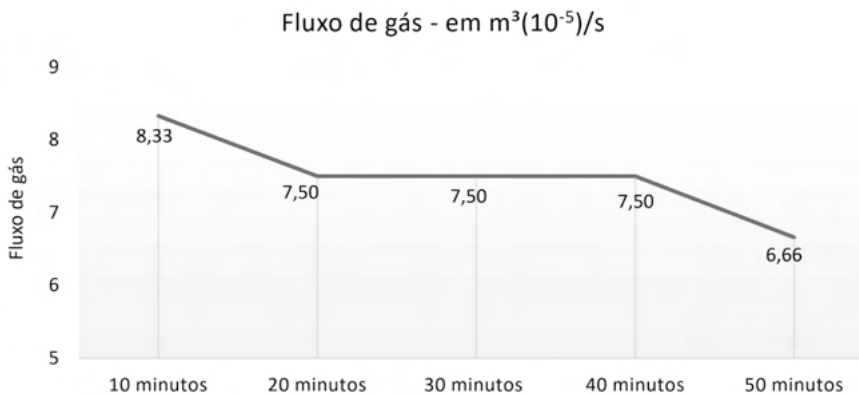


Figura 5 – Resultado do teste realizado com hidróxido de potássio e água residencial.

A quantidade ideal de eletrólito quanto ao hidróxido de potássio foi determinada considerando uma média aceitável de vazão em  $m^3/s$ , visando não exceder o limite de corrente elétrica suportada pela fonte de energia.

## 4 | CONCLUSÃO

A realização dos testes utilizando conjunto convencional automotivo permitiu a identificação dos melhores tipos de água e eletrólitos selecionados para a geração de

hidrogênio, conforme objetivo da pesquisa. Pode-se observar com os experimentos que a água mineral obteve um bom fluxo de gás produzido, juntamente com a água residencial. É possível concluir, por hipótese, que a condutividade elétrica e o fluxo de gás produzido têm relação com os minerais presentes na água no processo de eletrólise. A água destilada, por exemplo, que não possui sais em sua composição, apresentou baixo nível de vazão.

A água residencial destaca-se por ser de fácil obtenção. A água salgada, apesar de apresentar bom fluxo de gás nos testes, é de difícil aquisição, deixa resíduos nos reservatórios e pode ocasionar uma possível corrosão no sistema conforme seu uso constante.

Em relação aos eletrólitos, verificou-se que o hidróxido de potássio possui boa solubilidade e auxilia na passagem de corrente elétrica. A substância apresentou maior fluxo de gás se comparado aos demais eletrólitos.

## REFERÊNCIAS

ANANTHARAJ, S., EDE, S. R., KARTHICK, K., SANKAR, S. S., SANGEETHA, K., KARTHIK, P. E., KUNDU, S. Precision and correctness in the evaluation of electrocatalytic water splitting: revisiting activity parameters with a critical assessment. **Energy & Environmental Science**, v. 11, n. 4, p. 744-771, 2018.

CHANG, R.; GOLDSBY, K. A., **Química**. 11ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Hidrogênio energético no Brasil: Subsídios para políticas de competitividade (2010 – 2025)**. n. 7, Brasília, 2010.

GLENK, G., REICHELSTEIN, S. Economics of converting renewable power to hydrogen. **Nature Energy**, v. 4, n. 3, p. 216-222, 2019.

IBRAHIN, F. I. D. **Educação ambiental: estudos dos problemas, ações e instrumentos para o desenvolvimento da sociedade**. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2014.

INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH OF THE GERMAN SOCIAL ACCIDENT INSURANCE (IFA). **Plataforma virtual GESTIS Substance Database**. Acesso em 11 ago 2021.

MARQUES, G. C. **Eletromagnetismo: eletrólitos e eletrólise**. Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada e Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2015.

RADIOMETER ANALYTICAL SAS. **Conductivity: Theory and Practice**. França, 2004

VERAS, T. S., **Análise da competitividade da cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil e a proposição de uma agenda de trabalho setorial**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2015.

WOLLMANN, F. L. **Estudo da utilização de gás hidrogênio em veículos automotores**. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2013.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

A-CAES 5, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48

Aerodinâmica 68, 69

Ar comprimido 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 48, 50

Armazenamento 36, 38, 39, 40, 41, 44, 48, 49

### B

Biomecânica 88

### C

Cavernas 36, 39, 40, 41

Células de inovação 127

Ciência de dados 1

Confiabilidade 113, 115, 121

Consumo de combustível 1, 8, 10

### D

Desenvolvimento sustentável 1, 2

### E

Eletrólise 8, 9, 10, 11, 14, 18

Eletrólitos 5, 8, 9, 14, 17, 18

Energia 3, 8, 9, 11, 17, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 47, 48, 49, 50, 68, 70, 90

Energia limpa 8, 9

### F

Fluidodinâmica computacional 68

Fluido incompressível 68

Fratura coronal 88, 89, 99

### G

Geração de hidrogênio 8, 9, 10, 11, 17

### H

Huntorf 36, 37, 39, 40, 41, 49

### M

Medição de sinais vitais 127

Método dos elementos finitos 6, 88, 90, 98

Metodologia seis sigma 6, 113

## **O**

Ortotrópico 88, 89, 92, 96, 97, 98

## **P**

Paradas não planejadas 113, 114, 118, 119, 120, 122, 124, 125

Perdas metálicas 113

Pulseira eletrônica 127

## **R**

Renovável 36, 38, 42, 48

Router CNC 68, 69, 70

## **S**

Setor automotivo 5, 1, 2, 3, 7

Sistema remoto 127

## **T**

Tipos de água 5, 8, 10, 11, 12, 17

Túnel de vento 6, 68, 70, 71, 74, 78



# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA 2



🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
📷 @atenaeditora  
📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA 2

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)