

**Etec “PROFA. ANNA DE OLIVEIRA FERRAZ”**

**Técnico em Mecânica**

**Abner Marcelo Souza dos Santos**

**Anderson Carlos de Souza**

**Laura Faustino**

**Célula de Hidrogênio**

**Araraquara  
2021**

**Abner Marcelo Souza dos Santos**  
**Anderson Carlos de Souza**  
**Laura Faustino**

## **Célula de Hidrogênio**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a ETEC "Prof.<sup>a</sup> Anna de Oliveira Ferraz", do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, como requisito para a obtenção do diploma de Técnico de Nível Médio em Técnico mecânica sob a orientação do Professor Donizeti Roberto Pereira.

**Araraquara**  
**2021**

**Abner Marcelo Souza dos Santos**  
**Anderson Carlos de Souza**  
**Laura Faustino**

## **CÉLULA DE HIDROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Profa. Anna de Oliveira Ferraz como exigência parcial para obtenção do título de **Técnico em**  
\_\_\_\_\_.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 201\_\_.

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_  
Prof. Orientador: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Prof. Avaliador: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Prof. Avaliador: \_\_\_\_\_

Dedicamos esta obra aos nossos  
familiares.

## **AGRADECIMENTO**

Agradecemos a Deus primeiramente, pela paciência e sabedoria.

Ao Prof. Donizeti Roberto Pereira nosso orientador...

À Etec Prof<sup>a</sup> Anna de Oliveira Ferraz...

Aos professores...

Aos colegas de classe...

Aos demais que contribuíram para a construção do nosso TCC.

O importante não é vencer todos os dias,  
mas lutar sempre.

Waldemar Valle Martins

## RESUMO

As células eletrolíticas são dispositivos que quebram ligações químicas entre hidrogênio e oxigênio por meio da eletrólise.

A estrutura da célula é composta por placas paralelas de inox, material que pouco sofre oxidação, e por anéis de borracha para vedação.

Os anéis são montados entre as placas de inox para evitar que a água contida em seu interior saísse do sistema.

As placas possuem furações que permitem a comunicação das galerias de água.

Para que a célula possa inicializar a reação de separação das moléculas de água em hidrogênio e oxigênio, é necessário utilizar uma fonte de eletricidade no caso em questão, uma boa fonte de energia elétrica de corrente contínua é a bateria automotiva de 12 volts e 40 Ampères.

Depois de montada a célula, é instalado o reservatório e a bateria, e em seguida é adicionada ao reservatório a solução básica composta por água e hidróxido de potássio (KOH). Assim que a bateria é conectada à célula, é iniciada a reação química de quebra das moléculas de água por eletricidade (eletrólise), e os resultados são muito bons. A produção de gás HHO, resultante da reação, é satisfatória, visto que é capaz de produzir 500 mililitros de gás em 30 segundos. Com estes resultados, já se pode pensar em aplicações para o gás, como em motores de combustão interna.

## ABSTRACT

Electrolytic cells are devices that break chemical bonds between hydrogen and oxygen through electrolysis. The structure of the cell is composed of parallel stainless steel plates, a material that suffers little oxidation, and rubber rings for sealing. The rings are mounted between the stainless steel plates to prevent the water contained inside from leaving the system. The plates have holes that allow the communication of water galleries. In order for the cell to start the reaction to separate the water molecules into hydrogen and oxygen, it is necessary to use a source of electricity. After the cell is assembled, the reservoir and battery are installed, and then the basic solution composed of water and potassium hydroxide (KOH) is added to the reservoir. As soon as the battery is connected to the cell, the chemical reaction of breaking down water molecules by electricity (electrolysis) is started, and the results are very good. The production of HHO gas resulting from the reaction is satisfactory, as it is capable of producing 500 milliliters of gas in 30 seconds. With these results, one can already think of gas applications, such as internal combustion engines.

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> - Como funciona a Célula de Hidrogênio.....                | 20 |
| <b>Figura 2</b> – Interior da célula de hidrogênio.....                    | 20 |
| <b>Figura 3</b> – Material necessários para a produção.....                | 26 |
| <b>Figura 4</b> - Chama do Hidrogênio.....                                 | 28 |
| <b>Figura 5</b> - Fontes de Hidrogênio.....                                | 30 |
| <b>Figura 6</b> - Processo de Coleta do Hidrogênio.....                    | 32 |
| <b>Figura 7</b> – Cálculos para a conversão de um motor .....              | 43 |
| <b>Figura 8</b> – Combustão do hidrogênio.....                             | 49 |
| <b>Figura 9</b> – Célula de Hidrogênio.....                                | 51 |
| <b>Figura 10</b> – Célula de hidrogênio aplicada em um motor veicular..... | 52 |
| <b>Figura 11</b> – Ciclo de exaustão.....                                  | 54 |

## Lista de Quadros

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 1</b> – Modelo de diário de TCC..... | 17 |
| <b>Quadro 2</b> – Ficha de registro.....       | 17 |

## Lista de Tabela

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> - Eficiência De Combustível.....                         | 34 |
| <b>Tabela 2</b> - Mistura em Outros Combustíveis.....                    | 35 |
| <b>Tabela 3</b> - Porcentagem de Gases.....                              | 36 |
| <b>Tabela 4</b> - Valor de Aquecimento Baixo.....                        | 37 |
| <b>Tabela 5</b> - Mistura de ar com Hidrogênio e Gasolina.....           | 38 |
| <b>Tabela 6</b> - Consumo entre diferentes Carros.....                   | 39 |
| <b>Tabela 7</b> - utilização de geradores no inverno.....                | 40 |
| <b>Tabela 8</b> - consumo de água da eletrólise.....                     | 41 |
| <b>Tabela 9</b> - seleção do gerador.....                                | 45 |
| <b>Tabela 10</b> - Emissões relacionadas a temperatura de combustão..... | 48 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>JUSTIFICATIVA .....</b>                                      | <b>15</b> |
| <b>OBJETIVO.....</b>  | <b>16</b> |
| <b>DESENVOLVIMENTO.....</b>                                     | <b>15</b> |
| <b>CRONOGRAMA .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>HIDRÓLISE.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>CÉLULAS ELETROLÍTICAS.....</b>                               | <b>22</b> |
| <b>ELETRÓLISE.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>INÍCIO DO PROTÓTIPO.....</b>                                 | <b>25</b> |
| <b>NOMENCLATURA.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>PRECAUÇÕES .....</b>   | <b>27</b> |
| <b>ISÓTOPOS DE HIDROGÊNIO.....</b>                              | <b>29</b> |
| <b>SEPARAÇÃO DO HIDROGÊNIO .....</b>                            | <b>31</b> |
| <b>DIFERENTES APLICAÇÕES DO HIDROGÊNIO.....</b>                 | <b>32</b> |
| <b>ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO .....</b>                        | <b>33</b> |
| <b>HIDROGÊNIO MISTURADO COM OUTROS COMBUSTÍVEIS .....</b>       | <b>35</b> |
| <b>HIDROGÊNIO E GÁS NATURAL .....</b>                           | <b>36</b> |
| <b>HIDROGÊNIO E GASOLINA .....</b>                              | <b>37</b> |
| <b>HIDROGÊNIO E GASOLEO .....</b>                               | <b>39</b> |
| <b>MANUTENÇÃO DOS GERADORES .....</b>                           | <b>40</b> |
| <b>UTILIZAÇÃO DE GERADORES DE HIDROGÊNIO NO INVERNO.....</b>    | <b>40</b> |
| <b>CONSUMO DE ÁGUA EM GERADORES DE HIDROGÊNIO .....</b>         | <b>41</b> |
| <b>ALTERAÇÕES NECESSARIA A EFETUAR NO COMP DO AUTO.....</b>     | <b>42</b> |
| <b>COMO CONV MOTORES PARA USAR HIDRO COMO COMB PRINC.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>COMO ESCOLHER O EQUIPAMENTO HHO.....</b>                     | <b>45</b> |
| <b>COMO SELECIONAR UM GERADOR DE HIDROGÊNIO .....</b>           | <b>45</b> |
| <b>EFEITO DO HIGROGÊNIO EM DIFERENTES TIPOS DE MOTORES.....</b> | <b>46</b> |
| <b>EFEITO DO HIDROGÊNIO NAS EMISSÕES.....</b>                   | <b>46</b> |
| <b>EXCESSO DE HIDROGÊNIO NO MOTOR.....</b>                      | <b>48</b> |
| <b>COMO CALCULAR A PRODUÇÃO MÁXIMA DE HIDROGÊNIO.....</b>       | <b>50</b> |
| <b>DESENHO TÉCNICO .....</b>                                    | <b>51</b> |
| <b>CÉLULA DE HIGROGÊNIO APLICADA .....</b>                      | <b>52</b> |
| <b>EXP DA NASA COM HIDRO EM MOTORES DE COMB INTERNA .....</b>   | <b>53</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>        | <b>55</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                  | <b>56</b> |
| <b>TERMO DE AUTORIZAÇÃO.....</b>         | <b>58</b> |
| <b>DECLARAÇÃO DE AUTENTICIDADE .....</b> | <b>60</b> |

## INTRODUÇÃO

No meio científico, é constante a busca por soluções para os problemas enfrentados pela humanidade. Na atualidade, a busca por fontes de energias alternativas aos combustíveis fósseis vem motivando estudos e pesquisas por parte dos cientistas.

Há vários tipos de células a combustível, mas elas possuem o mesmo princípio de funcionamento e utilizam combustível gasosos. Assim, as células a combustível convertem a energia elétrica.

Entre as soluções propostas, destaca-se o uso do hidrogênio como energia abundante e limpa. O hidrogênio é o nono elemento mais abundante no planeta, porém não é encontrado em sua forma pura, apenas ligado a outros elementos. Uma das formas em que ele é encontrado é na forma de molécula de água ( $H_2O$ ). Para obter o hidrogênio na forma gasosa. Faremos uma célula de combustível, especificamente uma célula de hidrogênio.

A célula de hidrogênio tem por princípio em quebrar a ligação entre as moléculas de hidrogênio e oxigênio, separando os dois elementos e resultando em gás conhecido como  $HHO$ . Para tal quebrar, a célula faz uso de energia elétrica (decorrente elétrica contínua), no caso, de uma bateria automotiva, à água é adicionada em uma porcentagem de  $KOH$  (hidróxido de potássio), como o fim único de melhorar a condutividade elétrica e facilitar a quebra molecular.

Conforme o centro de gestão o estudo estratégico há uma necessidade urgente de reestruturação na matriz energética mundial, devido às perspectivas de um prazo bem curto para o esgotamento das reservas de petróleo. Um dos combustíveis mais promissores a longo prazo é o hidrogênio, porém não é uma fonte primária de energia, e para ser produzido necessita da utilização de outras formas de energia em processos artificiais.

## JUSTIFICATIVA

Com o crescente crescimento na produção de carros vemos que a utilização de tal meio vem, e, se torna indispensável ao ser humano, assim também se nota que proporcionalmente os níveis de poluição atmosféricas aumentam também. Muitos dos automóveis e maquinários de processos industriais se fazem a utilização de combustíveis fósseis, comumente os mais utilizados são álcool e gasolina. Nos últimos anos os veículos são os mais indicados a esse tipo de tecnologia, afinal para esses motores esse tipo de combustível seria mais eficaz e produziria menos barulho no motor. Sendo gerada através de fontes renováveis, e terem um sentido de se tornar mais barato, o hidrogênio vem sendo uma das alternativas que pode diminuir a poluição produzida por combustíveis fósseis. Ao ambiente o combustível de hidrogênio e/ou células combustíveis só traria benefícios, por ter uma fácil produção, pois hoje são disponíveis diversas técnicas de obtenção do gás hidrogênio, podendo utilizar até mesmo a água como fonte de produção do gás, para as grandes multinacionais o efeito de custo seria menor. Uma das problemáticas que se tem ainda quanto a isso é a dificuldade de armazenamento, pois o  $H_2(g)$  se trata de um gás leve e muito reativo.

## OBJETIVOS

### 1. Objetivos Geral

- . Gerar gás HHO a partir de eletrólise da água.

### 2. Objetivos específicos

- . Determinar os materiais para a construção de uma célula eletrolítica.
- . Dimensionar a célula eletrolítica para a aplicação.
- . Testar e avaliar o funcionamento da célula eletrolítica.
- . Propor aplicações para o uso da célula eletrolítica.

## DESENVOLVIMENTO

O assunto que está sendo tratado e sobre Célula de Hidrogênio, e um assunto bem complexo, porém muito informativo, onde se trata de componentes químicos. Por início começamos a discutir sobre esse tema onde é muito interessante, dividimos em partes iguais para cada aluno realizarem pesquisa sobre o determinado tema no caso o planejamento do TCC.

O hidrogênio, que vem da palavra grega hidro e genes, significa “gerador de água”. O hidrogênio é o elemento químico com estrutura atômica mais simples da tabela periódica, possui apenas um elétron orbitando um núcleo de apenas um próton. Esta estrutura atômica coloca o hidrogênio no ponto mais alto da tabela periódica, encabeçando a família dos metais alcalinos ferrosos (1ª), mesmo não sendo considerado um metal. Por possuir apenas um próton em seu núcleo, seu número atômico é  $Z=1$ .

### HIDROGÊNIO

O hidrogênio, que vem da palavra grega hidro e genes, significa “gerador de água”. O hidrogênio é o elemento químico com estrutura atômica mais simples da tabela periódica, possui apenas um elétron orbitando um núcleo de apenas um próton. Esta estrutura atômica coloca o hidrogênio no ponto mais alto da tabela periódica, encabeçando a família dos metais alcalinos ferrosos (1ª), mesmo não sendo considerado um metal. Por possuir apenas um próton em seu núcleo, seu número atômico é  $Z=1$ .

O ponto de fusão, ou seja, a temperatura em que o hidrogênio passa do estado sólido para o estado líquido, é de baixíssimos 259,2 oC negativos. E seu ponto de ebulição, temperatura em que passa de seu estado líquido para o estado gasoso, é de -252,8 oC. A massa molar do hidrogênio é 1,00747 g/mol.

Todo combustível, quando reage com o oxigênio (comburente), para formar água, pode liberar uma porção fixa de energia. Experimentalmente esta quantidade de energia pode ser medida e quantificada pelo poder calorífico superior e inferior. A diferença entre esses calores específicos (superior HHV e inferior LHV) é o “calor de vaporização”, que representa a quantidade de energia necessária para vaporizar o combustível, ou seja, para converter água (líquido) em vapor de água (gasoso)

Combustível: Valor do Poder Calorífico Superior (a 25 oC e 1 atm)

Valor do Poder Calorífico Inferior (a 25 oC e 1 atm)

Hidrogénio 141,86 KJ/g 119,93 KJ/g

Metano 55,53 KJ/g 50,02 KJ/g

Propano 50,36 KJ/g 45,6 KJ/g

Gasolina 47,5 KJ/g 44,5 KJ/g

Gasóleo 44,8 KJ/g 42,5 KJ/g

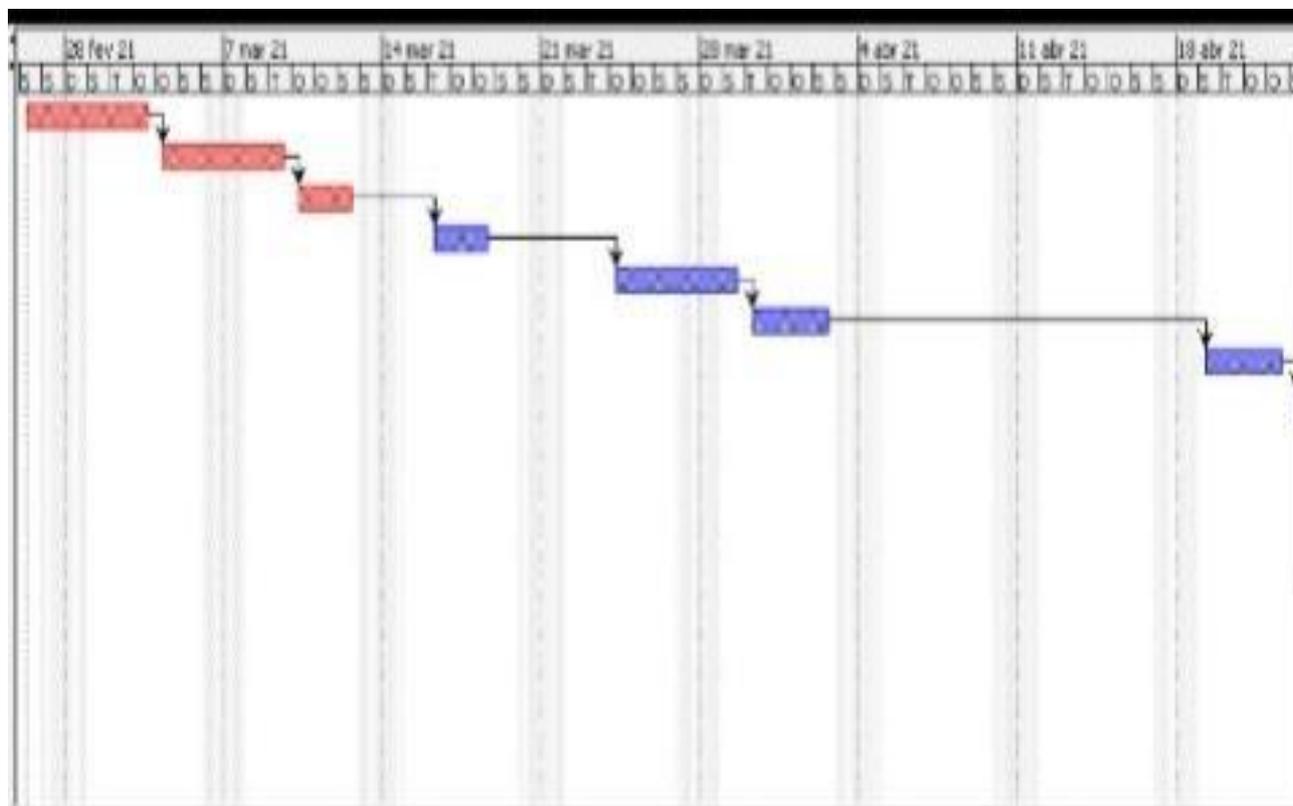
Metanol 19,96 KJ/g 18,05 KJ/g

O hidrogênio foi alvo de pesquisas por parte dos programas espaciais, e o peso é crucial, pois tem a mais alta energia por unidade de peso entre os combustíveis, além disto, ele é mais leve por não ter os pesados átomos de carbono. Especificamente a quantidade de energia liberada durante a reação do hidrogênio é 2,5 vezes maior do que a combustão de um hidrocarboneto. A principal vantagem do hidrogênio é que reações químicas necessárias para o reverter em energia produzem somente água como produto, ou seja, não há emissão de gases poluentes ou gases de efeito estufa.

O combustível hidrogênio deve ser usados para gerar energia por meio das células a combustível. O sistema hidrogênio-célula combustível é silencioso, não poluente, não causa quedas de energia, tem longa vida útil e pode servir como sistemas de backup.

## CRONOGRAMA

|    | Nome                              | Duração | Início     | Horas | Final      | Hora  |
|----|-----------------------------------|---------|------------|-------|------------|-------|
| 1  | Identificação e definição de tema | 4 dias  | 26/02/2021 | 08:00 | 03/03/2021 | 17:00 |
| 2  | Referencial teórico/fichamento    | 4 dias  | 04/03/2021 | 08:00 | 09/03/2021 | 17:00 |
| 3  | Introdução                        | 3 dias  | 10/03/2021 | 08:00 | 12/03/2021 | 17:00 |
| 4  | Justificativa                     | 3 dias  | 16/03/2021 | 08:00 | 18/03/2021 | 17:00 |
| 5  | Objetivo                          | 4 dias  | 24/03/2021 | 08:00 | 29/03/2021 | 17:00 |
| 6  | Metodologia                       | 4 dias  | 30/03/2021 | 08:00 | 02/04/2021 | 17:00 |
| 7  | Cronograma                        | 4 dias  | 19/04/2021 | 08:00 | 22/04/2021 | 17:00 |
| 8  | Referências                       | 3 dias  | 23/04/2021 | 08:00 | 27/04/2021 | 17:00 |
| 9  | Revisão/correção/formatação       | 4 dias  | 28/04/2021 | 08:00 | 03/05/2021 | 17:00 |
| 10 | Apresentação do projeto           | 1 dia   | 03/05/2021 | 08:00 | 03/05/2021 | 17:00 |
| 11 | Entrega do projeto                | 1 dia   | 21/06/2021 | 08:00 | 21/06/2021 | 17:00 |



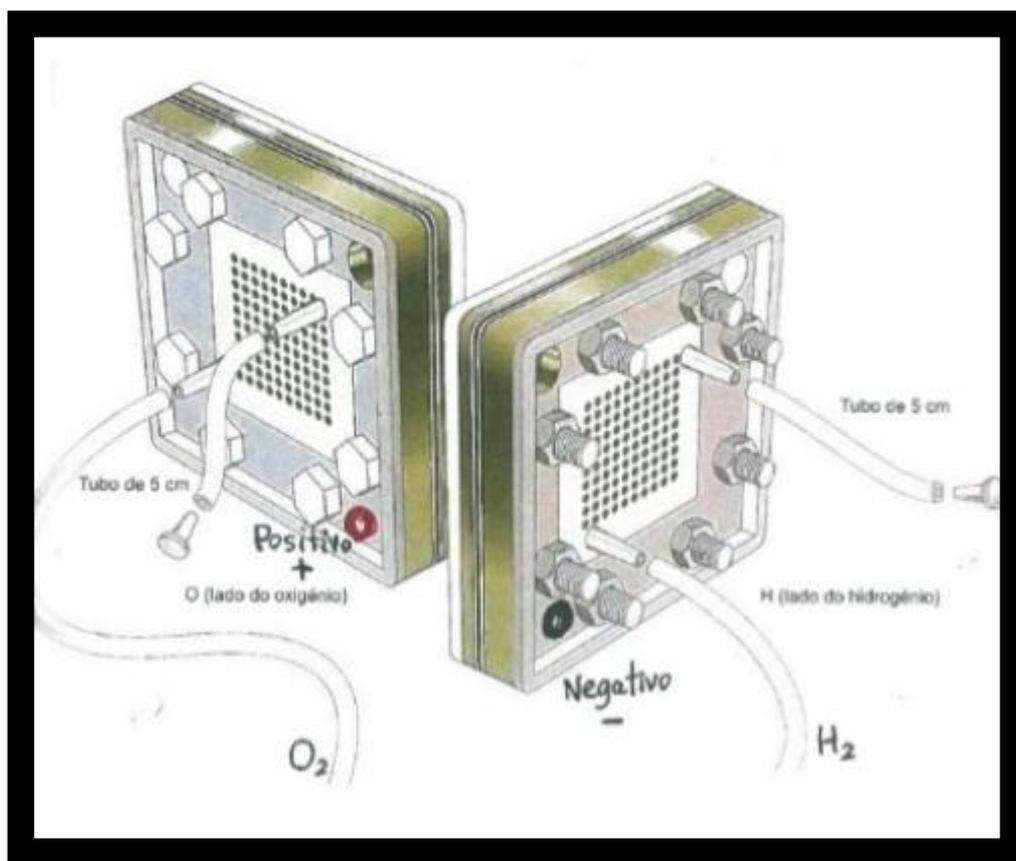


Figura 1- Como funciona a Célula de Hidrogênio.

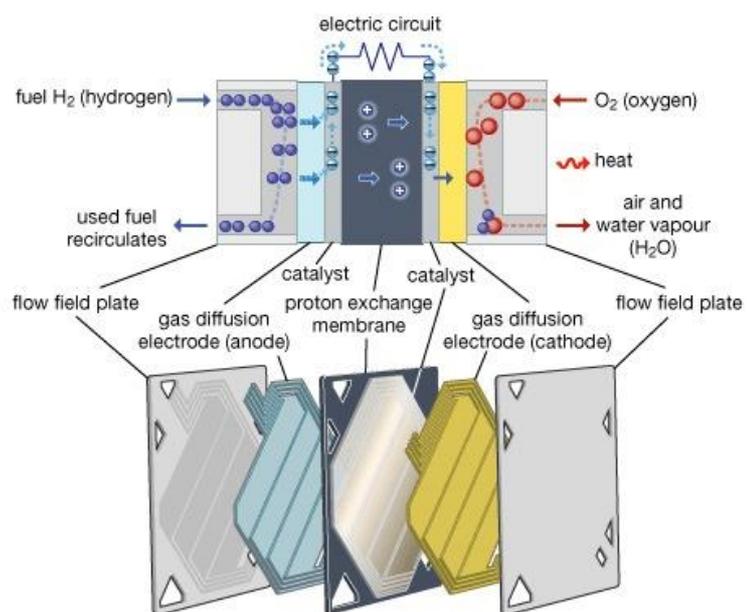
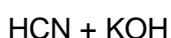
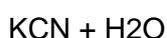
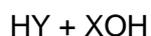
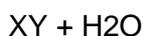


Figura 2 – Interior da célula de hidrogênio.

## HIDRÓLISE

Hidrólise significa “quebra pela água”, e de acordo com a definição de Arrhenius (1903) de ácidos e bases, é uma reação entre ânion (ou um cátion) e a água, com o fornecimento de íons OH<sup>-</sup> ou H<sup>+</sup> para a reação. Hidrólise é um termo aplicado a reações orgânicas e inorgânicas em que a água efetua uma dupla troca com outro composto:



Na química orgânica, a hidrólise inclui reações como a saponificação de ácidos graxos e outros ésteres, inversão de açúcares, quebra de proteínas (hidrólise enzimática). Reações em que são colocados ácidos minerais em água (em pequena ou em grande quantidade) também são consideradas reações de hidrólise. Esta adição invariavelmente ajuda a iniciar ou acelerar o processo. Hoje são conhecidos cinco tipos de hidrólise:

- I. Hidrólise pura, somente água é utilizada.
- II. Hidrólise ácida, há o uso de ácido mineral em solução aquosa diluída ou concentrada.
- III. Hidrólise básica, há o uso de álcali em solução aquosa diluída ou concentrada.
- IV. Fusão alcalina a alta temperatura, há o uso de álcali com pouco ou sem nenhuma quantidade de água.

## CÉLULAS ELETROLÍTICAS

Células eletrolíticas são os dispositivos nos quais ocorre a eletrólise, são formados por placas positivas e negativas mergulhadas em uma solução eletrolítica. A natureza da água foi por muito tempo um enigma. Desde a Antiguidade, ela era considerada uma substância elementar, até que sua natureza composta foi provada durante o século XVIII. Em 1781, o químico inglês Joseph Priestley (1733-1804) observou que, quando o “gás inflamável” (nosso hidrogênio) ardia ao ar, podia-se observar o aparecimento de uma espécie de orvalho. Seu compatriota Henry Cavendish (1731-1810) foi além e realizou o experimento em condições mais acuradas, recolhendo e medindo o tal orvalho produzido e comprovando, enfim, que se tratava realmente de água. Coube ao químico francês Antoine Lavoisier (1743-1794) dar uma explicação teórica completamente satisfatória para o fenômeno, mostrando que ele era reversível, isto é, que a água podia também ser sintetizada a partir dos gases que a formavam, por ele agora denominados hidrogênio e oxigênio.

No ano de 1800, o físico italiano Alessandro Volta (1745-1827) escreveu uma carta ao presidente da Royal Society, da Inglaterra, Sir Joseph Banks (1743-1820), que logo a publicou, desencadeando enormes consequências. Na carta, Volta descrevia os experimentos que vinha realizando com a eletricidade e sua recente invenção, que veio a ser conhecida como pilha voltaica ou pilha elétrica. O dispositivo consistia simplesmente de uma pilha (daí o nome) de pequenos discos de dois metais diferentes (cobre e estanho, ou melhor, prata e zinco) dispostos alternadamente uns sobre os outros e separados por pedaços de papelão ou feltro embebidos em água salgada. Também se obtinha efeito análogo quando se imergiam em solução salina pares dos dois metais unidos por pedaços de metal, como mostra a figura original de Volta. Quando uma pessoa punha a mão no primeiro disco da pilha e a outra mão no último sentia um choque fraco, mas contínuo. A intensidade elétrica aumentava com o número de pares de discos metálicos.

Hoje se sabe que os dois metais devem ser escolhidos de modo a constituir um par em que um deles tende a oxidar-se (perder elétrons), comparativamente ao outro, que deve ser mais propenso a reduzir-se (ganhar elétrons). Fechando o circuito e havendo possibilidade de condução da eletricidade por meio da solução de água salgada, ocorre a formação de uma corrente elétrica, fonte dos choques relatados por Volta.

No mesmo ano de 1800, o químico inglês William Nicholson (1753-1815) e o médico inglês Sir Anthony Carlisle (1768-1840) construíram uma pilha feita de 17 moedas de meia-coroa de prata e igual número de peças de zinco. O circuito era fechado com fios de latão. Para obter um contato melhor, Carlisle pôs uma gota de água na placa superior e percebeu a liberação de um gás, que Nicholson supôs ser hidrogênio. No artigo que os dois publicaram no

mesmo ano de 1800, lê-se que “uma torrente de pequenas bolhas saía do fio conectado à prata, e o outro fio ficou oxidado”.

O gás foi identificado como hidrogênio, enquanto o oxigênio se fixou ao outro fio (oxidando-o) a uma distância de quase duas polegadas. Quando os fios de latão foram substituídos por fios de platina, o resultado foi o desprendimento de gás em ambos os fios (visto que a platina não se oxida com o oxigênio). Repetindo-se o experimento com uma pilha ainda mais potente, foi possível produzir uma quantidade muito maior de gases. Deixando a reação ocorrer por 13 horas seguidas, os volumes consideráveis de gases recolhidos estavam nas mesmas proporções correspondentes à composição da água.

Os gases foram ainda analisados para mostrar que eram de fato hidrogênio e oxigênio. Havia sido feita, em condições controladas, e pela primeira vez, a reação de decomposição Pilha de Volta: o dispositivo tornou possível decompor a água em seus gases constituintes: hidrogênio e oxigênio.

A primeira célula de combustível foi desenvolvida no século XIX por Sir William Grove. Um esboço foi publicado em 1843. Células de combustível não tiveram aplicação prática até 1960, quando então passaram a ser usadas no programa espacial americano para produzir eletricidade e água potável (hidrogênio e oxigênio fornecidos de tanques da aeronave), processo extremamente caro porque as células exigem hidrogênio e oxigênio puríssimos.

Em 1813, o físico-químico inglês Michael Faraday iniciou a sua brilhante carreira num mundo acadêmico rico em ideias e experiências. Faraday realizou pesquisas e elaborou teorias que constituíram os fundamentos da eletroquímica e do eletromagnetismo. Os estudos realizados sobre a eletrólise de soluções de sais, ácidos e bases serviram para obter as leis básicas da eletrólise (1834), relacionando a ação química produzida pela corrente e a quantidade de eletricidade.

## ELETRÓLISE

As leis que regem a eletrólise são as que relacionam as massas das substâncias produzidas nos eletrodos e as quantidades de energia gasta na eletrólise. Essas leis foram estabelecidas por Michael Faraday, em 1834. A primeira lei da eletrólise, ou Lei de Faraday, pode ser enunciada da seguinte forma: “A massa da substância eletrolisada em qualquer dos elementos é diretamente proporcional à quantidade de carga elétrica que atravessa a solução”. A segunda lei diz que, empregando-se a mesma quantidade de carga elétrica (Q), em diversos eletrólitos, a massa da substância eletrolisada, em qualquer dos eletrodos, é diretamente proporcional ao equivalente-grama da substância. Por definição, um Faraday é a carga elétrica

que produz um equivalente-grama de qualquer elemento em uma eletrólise e equivale à carga de um mol ( $6,02 \times 10^{23}$ ) de elétrons ou de prótons (PORTAL DE QUÍMICA, 2001).

O processo de eletrólise da água consiste basicamente na decomposição química da água em seus elementos constituintes, sendo eles o hidrogênio e o oxigênio, e com a utilização de corrente elétrica contínua e uma solução diluída, podendo ser ácida ou básica. Quando essa corrente elétrica atravessa a água, a ligação entre os elementos se rompe, gerando dois átomos de hidrogênio carregados positivamente e um átomo de oxigênio carregado negativamente. Os íons negativos do oxigênio migram para o eletrodo positivo (ânodo) e os íons positivos de hidrogênio migram para o eletrodo negativo (cátodo) (SOUZA, 1998).

A eletrólise é um método utilizado na obtenção de reações de oxirredução (SANTOS JÚNIOR, 2004).

Em outra definição, eletrólise é um processo eletroquímico de dissociação, e os produtos finais das reações desencadeadas são hidrogênio e oxigênio moleculares, o balanço mássico destas reações acusa somente a decomposição da água. Quando é aplicada uma força eletromotriz acima de determinado potencial mínimo, há passagem de corrente entre os eletrodos, desencadeando as reações eletrolíticas (SOUZA, 1998).

- No cátodo =  $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$
- No ânodo =  $2\text{OH}^-(\text{aq}) - 2\text{e}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- Global =  $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$

A corrente elétrica diretamente aplicada à água resulta na seguinte reação:



Ela produz duas vezes mais hidrogênio do que oxigênio.

## INÍCIO DO PROTÓTIPO

Após a pesquisa realizaremos o projeto em forma de teste. Com um recipiente de vidro temperado com tampa será necessário o uso duas hastes de inox, uma das hastes será isolada para não entrar em curto-circuito. Há haste isolada será o positivo ligado na bateria ou na energia 110/ 220, a outra haste será o negativo.

Com isso colocaremos em preparação a solução química, será necessário água filtrada e soda cáustica ou água e bicarbonato de sódio. Feito isso será necessário diluir a soda cáustica por completo até que não haja resquícios da soda cáustica. Agora vamos pegar a tampa e fazer três furos dois iguais e o terceiro com a largura maior, os dois furos iguais introduza a hastes de inox dentro lembrando que tem que ser da largura da haste e que entre bem justo para não haver saída do gás Hidrogênio.

Logo após isso no terceiro furo vamos introduzir uma mangueira da largura que quiser para o uso que quiser, no caso seria uma mangueira de fogão, já feito isso verificaremos se está ligado corretamente, também se pode haver lugares onde possa ocorrer vazamentos.

Com isso separemos um copo com água e detergente, com isso coloque mangueira dentro do copo ligue sua célula de hidrogênio você perceberá que no copo irá formar bolhas armazenando o gás Hidrogênio, para verificar se funcionou pegue um isqueiro ou fósforo, antes disso retire a mangueira de dentro do copo e desligue a célula de hidrogênio, aproxime o isqueiro ou o fósforo com cuidado assim entrará em combustão causando uma leve explosão e irá perceber a chama de fogo. Assim já iremos poder fazer uma célula de hidrogênio de maior tamanho e maior potencial de gás Hidrogênio.



Figura 3 - Material necessários para a produção.

## NOMENCLATURA

|      |                         |
|------|-------------------------|
| ATM. | Atmosfera               |
| GPL. | Gás petróleo liquefeito |
| HHO. | Gás Hidróxido           |
| PPM. | Parte por milhão        |

PVT. Pressão, volume, Temperatura

SMR Steam Reforming of Methane

Reforma do metano a vapor.

## PRECAUÇÕES

A chama do hidrogénio não é visível à luz do dia porque a sua emissividade é muito baixa – 17 a 25 % - emitindo uma luz pouco radiante na faixa do espectro visível, menor do que nós.

Outros combustíveis fósseis, como por exemplo o butano, o propano ou até mesmo a gasolina –34 a 43%. Esta característica torna o hidrogénio menos perigoso em caso de acidente porque a radiação transmitida é menor, no entanto pode não ser possível perceber a sua existência facilmente. A chama do hidrogénio é muito quente, sendo a sua densidade energética de 38 KWh/kg contra a densidade da gasolina que é de apenas 14 KWh/Kg. A energia necessária para a ignição de uma mistura hidrogénio – ar é de apenas 0,04 mg, contra os 0,25 mg dos Hidrocarbonetos.

O hidrogénio é extremamente inflamável no ar, entre 4% e 75% por volume de ar. A energia necessária para inflamá-lo é muito pequena e, em algumas condições, pode ocorrer auto inflamação.

O hidrogénio pode-se difundir rapidamente através de materiais e sistemas que estejam presentes no ar ou em outros gases comuns devido à sua baixa densidade. Em alguns materiais, a difusão é mais pronunciada com temperaturas elevadas. Este também é mais volátil que a gasolina, propano e metano, assim como tende a dispersar-se mais rapidamente.

A única exceção é para libertações criogénicas, onde o vapor muito frio que inicialmente se forma, pode ser mais denso que o ar circundante. As tabelas 1, 2 e 3 comparam os Índices de inflamabilidade e ignição, temperaturas de autoignição e características de explosão respectivamente.

Quando em contacto com o flúor e o cloro, especialmente com o primeiro, com o qual a reação é tão rápida e imprevisível que se torna incontrolável, este reage violentamente. A sua despressurização rápida pode provocar inflamação, visto a sua expansão ser acima de -40 °C, podendo ocorrer aquecimento. Todas estas características do hidrogénio, colocam-no num

patamar de utilização como combustível bastante privilegiado. No entanto essas mesmas características traduzem-se em fortes implicações contra o ser humano, devido à extrema sensibilidade para se detonar.

Para que seja usado em público, o hidrogénio teria de ser manuseado com o mesmo nível de confiança e nunca com mais riscos, que os combustíveis convencionais. As propriedades físicas relevantes para a segurança do hidrogénio são comparadas com as da gasolina, GPL, e o Metano.

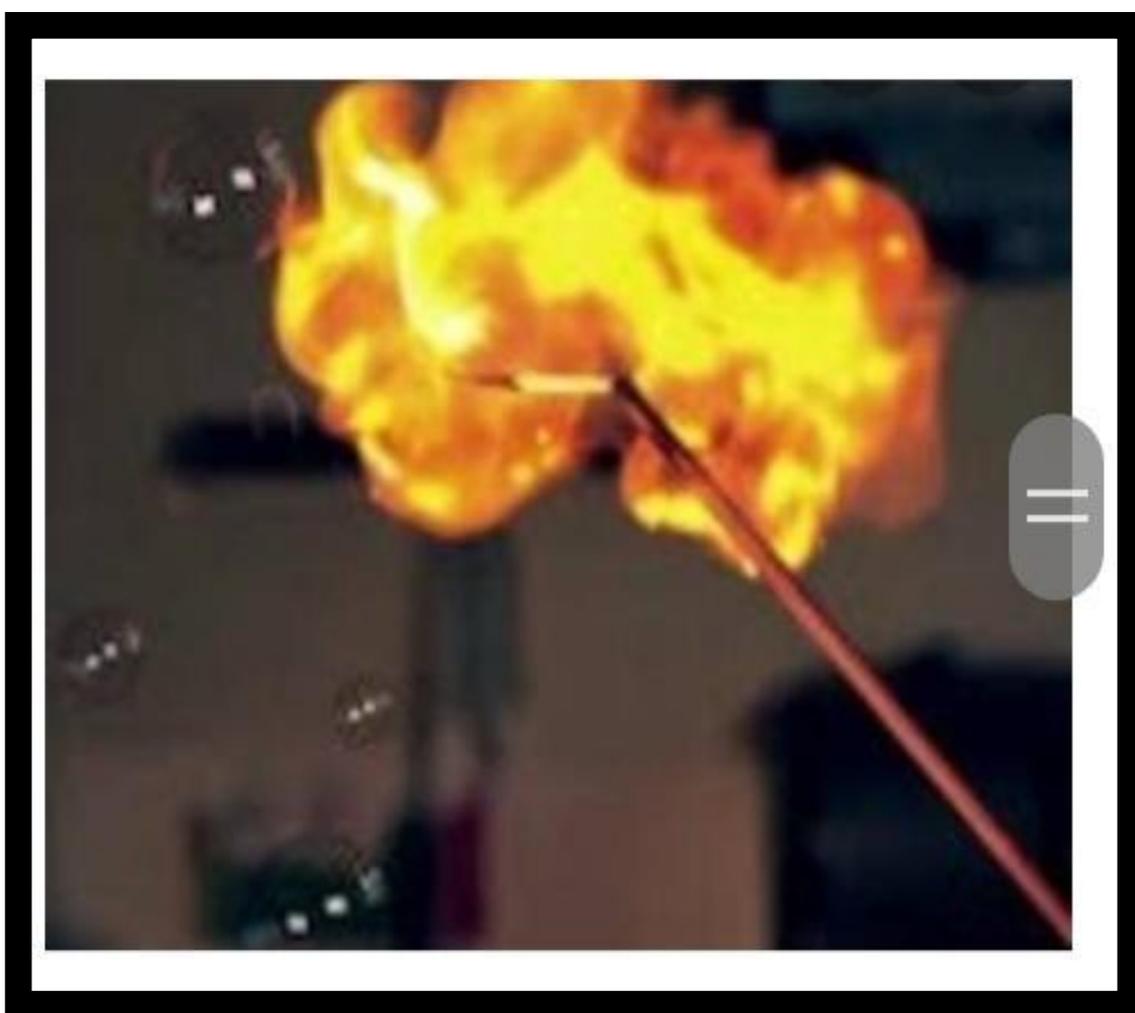


Figura 4 – Chama do Hidrogênio.

## ISÓTOPOS DE HIDROGÊNIO

O H é o único elemento que tem nomes e símbolos químicos distintos para cada um dos seus diferentes isótopos. Isótopos são átomos de um elemento químico cujos núcleos têm o mesmo número atômico “Z”, mas diferentes massas atômicas, “A”. A palavra isótopo, que significa “no mesmo sítio”, vem do facto de que os isótopos se situam no mesmo local na tabela periódica. O número atômico corresponde ao número de prótons num átomo. Assim, os isótopos de um certo elemento contêm o mesmo número de prótons.

A Diferença nos pesos atômicos resulta de diferenças no número de neutrões nos núcleos atômicos.

### Protio

É o mais abundante na natureza, aparece na maioria das substâncias que possuem o elemento hidrogénio – possui apenas um próton no núcleo, representado por  $1H1$ .

### Deutério

O seu símbolo é  $1D2$ , é também chamado de hidrogénio pesado, tem 1 próton e um neutrão no núcleo. Este gás possui as mesmas propriedades químicas do hidrogénio. Obtido pela decomposição da água pesada. O Deutério tem uma abundância natural compreendida entre 0,0184 e 0,0082%. É utilizado como moderador de neutrões em fissão nuclear, e tem aplicações na química e na biologia em estudos de reações utilizando o efeito isotópico.

### Tritio

É isótopo radioativo do hidrogénio  $1T3$ , com o núcleo formado por um próton e dois neutrões. Descoberto por Rutherford, em 1934, é preparado nos reatores nucleares e utilizado para fusão termonuclear e como traçador, em biologia.

### Processos de Obtenção do Hidrogénio

O hidrogénio normalmente existe combinado com outros elementos, como o oxigénio na água, o carbono no cloro, e na maioria dos compostos orgânicos.

Como é quimicamente muito ativo, raramente permanece sozinho como um único elemento ( $H_2$ ), estando associado ao petróleo, carvão, metano, água, gás natural, proteínas, hidratos de Carbono e em todo o tipo de vegetação.

Estas razões conduzem-nos a uma necessidade de separação dos átomos de hidrogénio dos restantes elementos aos quais se encontra associado. Como vimos atrás, o hidrogénio tem propriedades que o afirmam como um combustível poderoso, e cabe a nós analisar se a energia usada para o separar é compensatória para a que ele nos fornece.

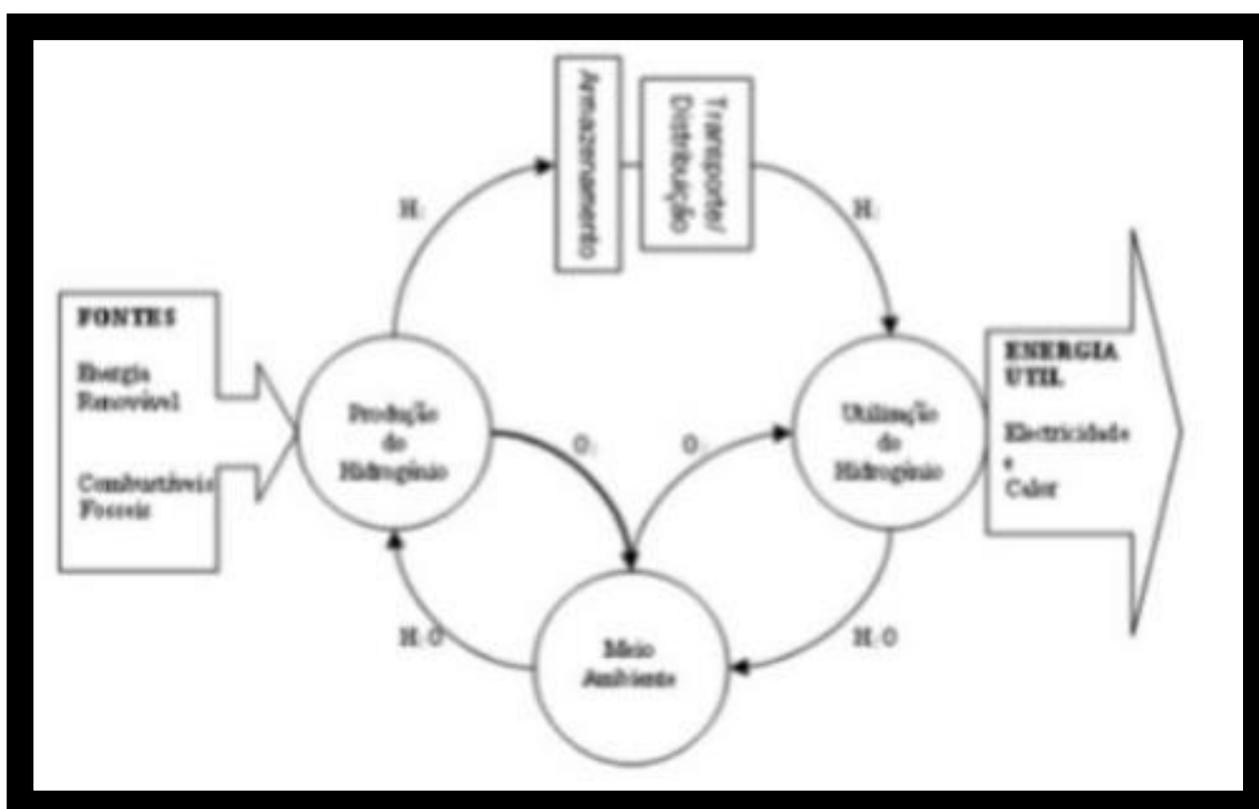


Figura 5 – Fontes de Hidrogênio.

## SEPARAÇÃO DO HIDROGÊNIO

Para a separação do Hidrogénio estão disponíveis diversos processos; em laboratório é obtido pela reação de ácidos com metais.

- Reação de hidretos metálicos
- Reação de liga de ferro – titânio
- Cloroplastos artificiais (Melvin Klain)
- Reação de liga de níquel – magnésio
- Reações de metais com ácidos

Industrialmente é obtido pela eletrólise:

- Eletrólise da água
- Decomposição da amónia
- Decomposição do metanol
- Reações de carvão ou hidrocarbonetos com vapor de água a alta temperatura.

O hidrogénio pode ser obtido através de inúmeros recursos e processos, no entanto o processo que apresenta atualmente um custo de produção menor, e mais difundido é o SMR – trata-se de um processo de separação do Hidrogénio em forma de gás. Neste mesmo estudo, o gás natural foi selecionado como a fonte energética principal não só pelo atrativo processo económico que é o SMR, mas também porque o gás natural está disponível em grande escala, tendo boas infraestruturas de distribuição e transporte.

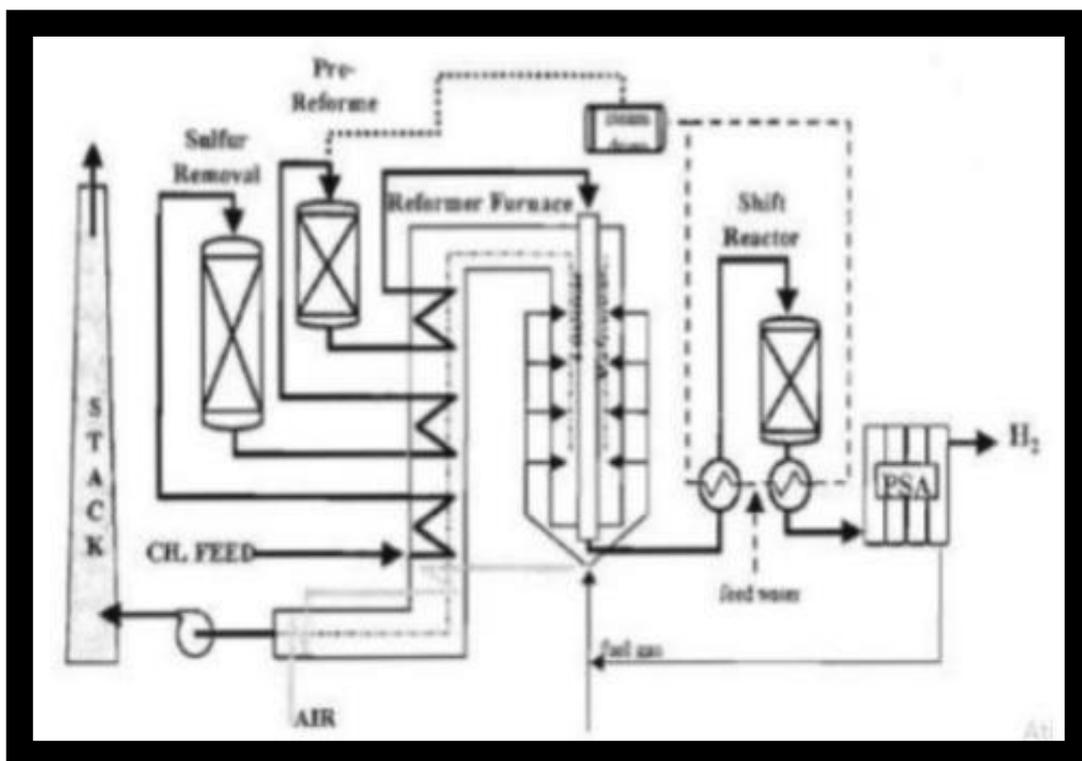


Figura 6 – Processo de Coleta do Hidrogênio.

## DIFERENTES APLICAÇÕES DO HIDROGÊNIO

Como curiosidade, serão mencionados outros sectores, para além do dos transportes, que utilizam o hidrogénio como combustível. Este começou a ser utilizado em grande escala já no início do séc. XIX, onde foi identificado como uma fonte potencial de combustível, no entanto o desastre com o zeppelin “Hindenburg” em 1937 novas precauções para larga escala de utilização foram tomadas.

A agência espacial dos EUA – NASA – utiliza nos seus projetos espaciais para a propulsão dos foguetes, pois estes exigem características não adquiridas com outros combustíveis, tais como: o baixo peso, a capacidade de compactação e grande armazenamento de energia.

Quando utilizado em células, a água que resulta do processo é consumida pelos astronautas.

A maior parte do hidrogénio produzido no mundo, é utilizado como matéria-prima na fabricação de produtos como os fertilizantes, na conversão de óleo líquido em margarina, no processo de fabricação de plásticos e no arrefecimento de geradores e motores devido à sua elevada condutibilidade térmica.

Algumas indústrias utilizam o hidrogénio para refinar petróleo. Elevadas quantidades de hidrogénio são necessárias em indústrias químicas e 17 petrolíferas, nomeadamente no processo “Harber” para produção de amónia, o quinto composto com maior produção industrial, e na produção de ácido clorídrico (HCl).

Alguns fabricantes de automóveis desenvolveram carros movidos a hidrogénio. A queima de hidrogénio é 50% mais eficiente que a da gasolina, e esta gera alguns óxidos de nitrogénio (NOx), mas ainda assim, a queima de hidrogénio com ar produz menos poluentes atmosféricos que os combustíveis fósseis (petróleo, carvão). Isto quer dizer que o hidrogénio queima mais rapidamente, mas traz consigo os perigos de pré-ignição e flashback.

Presentemente, as pesquisas sobre hidrogénio estão concentradas na geração de energia eléctrica, térmica e de água pura através das células a combustível.

Como pesquisas futuras, o hidrogénio pode fornecer eletricidade e combustível para os sectores residencial, comercial, industrial e de transporte, criando uma nova economia energética.

## **ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO**

Para se utilizar o hidrogénio em larga escala de maneira segura, os sistemas de armazenamento ainda têm de sofrer alguma evolução, devendo ser mais práticos, especialmente para os automóveis.

Apesar de o hidrogénio poder ser armazenado no estado líquido, este processo requer um elevado gasto de energia, cerca de 25 ou 30% de sua energia total pois o hidrogénio tem de ser arrefecido até  $-253^{\circ}\text{C}$ , e exige materiais e manipulação especiais. O arrefecimento de 0,5kg de hidrogénio necessita cerca de 5KWh de energia eléctrica.

O hidrogénio também pode ser armazenado como gás, que utiliza muito menos energia que aquela necessária para fazer hidrogénio líquido.

Ao ser armazenado no estado gasoso, deve ser pressurizado para que se consiga uma quantidade razoável. Para utilização em larga escala, o gás pressurizado pode ser depositado em cavernas ou minas. O gás hidrogénio pode ser encanado e levado às residências da mesma maneira que o gás natural, mas por ser útil para a utilização do hidrogénio como combustível de aquecimento, não o é para utilização em veículos porque os tanques de metal pressurizados são muito caros.

Na Tabela 7 serão indicadas as características de armazenamento do hidrogénio, em dois tipos de cilindros diferentes, no primeiro, um cilindro convencional de aço, e no segundo, um tanque de maiores dimensões, construído em material compósito, cujo preço é três vezes superior ao do primeiro caso.

Um método potencialmente mais eficiente é na forma de hidretos, certas ligas metálicas como as de magnésio – níquel, magnésio – cobre e ferro – titânio, absorvem hidrogénio e quando aquecidos libertam-no.

Os hidretos, no entanto, armazenam pouca energia por unidade de massa. As pesquisas atualmente procuram um composto que seja capaz de armazenar uma grande quantidade de hidrogénio com uma elevada densidade energética, liberar o hidrogénio como combustível, reagir rapidamente e possuir um custo acessível.

tabela 1- Eficiência De Combustível.

| Splitting Process              | Energy Required [kWh/N <sup>3</sup> of H <sub>2</sub> ] |             | Status        | Efficiency [%]    | Costs Relative to CH <sub>4</sub> Steam Reform | Fraction of Production [%] |
|--------------------------------|---|-------------|---------------|-------------------|--|----------------------------|
|                                | In Theory   | In Practice |               |                   |  |                            |
| Methane Steam Reforming        | 0.78  | 2 – 2.5     | Mature        | 70 – 80           | 1  | 48                         |
| Methane Cracking               |   |             | Mature        | 54                | (0.9)  |                            |
| Partial Oxidation of Heavy Oil | 0.94  | 4.9         | Mature        | 70                | 1.8 (1.6)                                      | 30                         |
| Naphtha Reformation            |   |             | Mature        |                   |  |                            |
| Coal Gasification (TEXACO)     | 1.01  | 8.6         | Mature        | 60                | 1.4 – 2.6 (2.3)                                | 18                         |
| Partial Oxidation of Coal      |   |             | Mature        | 55                |  |                            |
| HYDROCRAB                      |   |             | R&D           |                   | (0.9)  |                            |
| Steam Iron                     |   |             | R&D           | 46                | (1.9)  |                            |
| Chloralkali Electrolysis       |   |             | Mature        |                   | By product                                     | 4                          |
| Water Electrolysis             | 3.54  | 4.9         | R&D<br>Mature | 27 <sup>(2)</sup> | 5 – 10 (3.0)                                   |                            |
| High Temperature Electrolysis  |   |             | R&D           | 48                | (2.2)  |                            |
| Thermochemical Cycles          |   |             | Early R&D     | 35 – 45           | 6  |                            |
| Biomass Conversion             |   |             | Early R&D     |                   | 2 – 2.4  | –                          |
| Photolysis                     |   |             | Early R&D     |                   | < 10   |                            |

Tabela 1- Eficiência De Combustível.

## HIDROGÊNIO MISTURADO COM OUTROS COMBUSTÍVEIS

A utilização do hidrogénio como combustível a solo deixou de ser o principal objetivo dos investigadores, e retirou-se completamente a ideia de utilizar o hidrogénio como combustível misturado com ar, pois esta mistura não apresenta um poder calorífico tão elevado como nas restantes misturas com os restantes combustíveis fósseis utilizados – gasóleo e gasolina – Assim como no caso do metanol – Tabela 2.

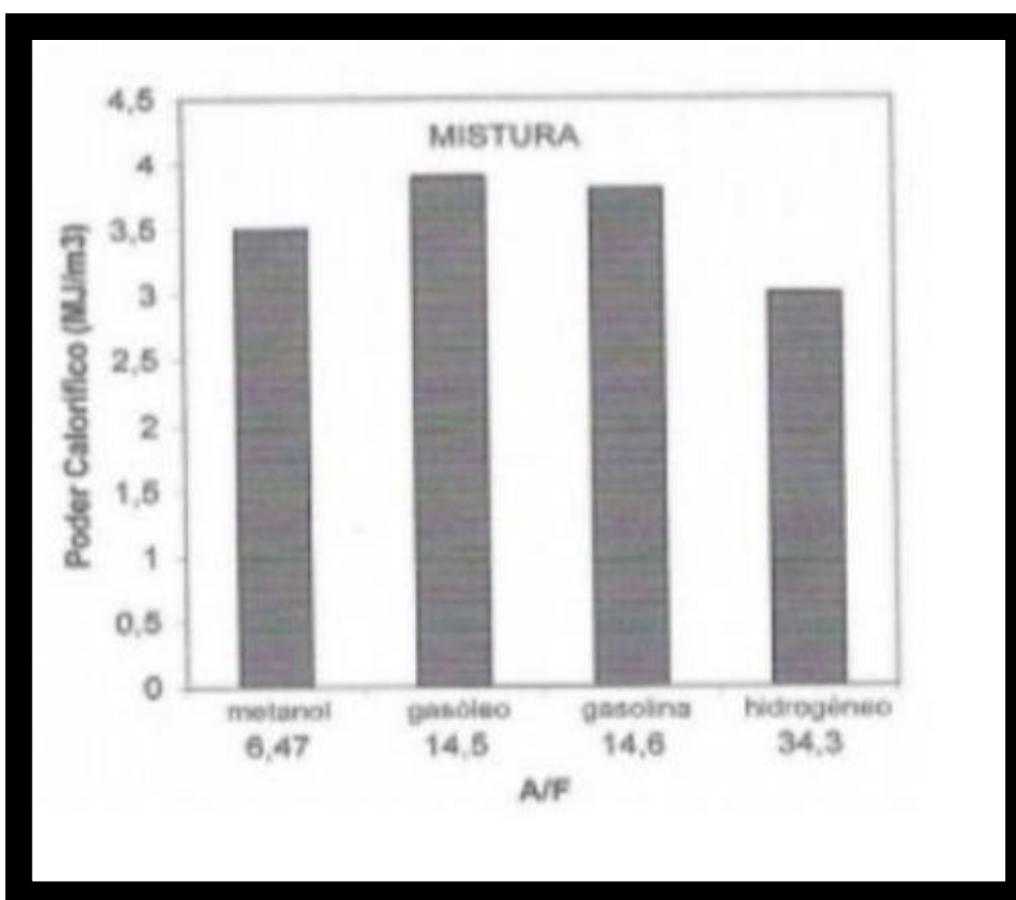


Tabela 2 – Mistura em Outros Combustíveis

A sua aplicação, no panorama atual dos transportes, torna-se mais atrativa quando surge a possibilidade de o associarmos aos combustíveis utilizados em grande escala, como são os fósseis, pois implica um gasto menor de adaptação dos motores.

## HIDROGÊNIO E GÁS NATURAL

De acordo com um estudo efetuado pela Universidade Técnica da Dinamarca, quando o hidrogénio é utilizado como um suplemento de combustíveis fósseis, o nível de reatividade deste é importante para o início da combustão onde o início da chama é desenvolvido naturalmente.

Para além disso a velocidade laminar da chama de hidrogénio é maior que a chama proveniente dos combustíveis fósseis. Quanto mais largos forem os limites da inflamabilidade e menor for a duração da combustão causada pela velocidade da chama mais intensa, e se adicionado ao gás natural, torna possível fazer o motor gastar menos combustível e com níveis de emissões para a atmosfera mais baixos. Há uma redução das emissões de CO, NOX e UHC pelo aumento da relação ar combustível até que a combustão parcial seja predominante.

Em seguida será apresentado na Tabela 3 a percentagem dos componentes de três gases estudados.

No RNG – Gás Natural Reformulado – foi adicionada uma determinada percentagem de H<sub>2</sub>, o NG é o gás Natural, e por fim o PG+NG é o gás Natural com adição de um gás de um Produtor, que também tem uma percentagem de 30-35% de H<sub>2</sub>.

A diferente composição química dos três gases denuncia também propriedades de combustão diferentes, sendo assim na Tabela 4 estará representado o LHV (Valor de aquecimento mais baixo) e o valor estequiométrico da relação ar combustível dos três gases.

| Composition                    | RNG [%] | NG [%] | PG + NG [%] |
|--------------------------------|---------|--------|-------------|
| CH <sub>4</sub>                | 70.9    | 87.6   | 44.4        |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | 0       | 6.6    | 3.3         |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | 0       | 3.0    | 1.5         |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 0       | 1.3    | 0.7         |
| H <sub>2</sub>                 | 22.6    | 0      | 17.0        |
| CO                             | 0       | 0      | 9.6         |
| CO <sub>2</sub>                | 6.5     | 1.3    | 8.1         |
| N <sub>2</sub>                 | 0       | 0.4    | 15.6        |

Tabela 3- Porcentagem de Gases.

|                            | RNG    | NG     | PG + NG |
|----------------------------|--------|--------|---------|
| LHV / [MJ/m <sup>3</sup> ] | 27.5   | 39.3   | 22.9    |
| A/F <sub>stoic</sub>       | 14.3   | 16.3   | 8.58    |
| T <sub>ad</sub>            | 2734 K | 2743 K | 2709 K  |

Tabela 4- Valor de Aquecimento Baixo.

## HIDROGÊNIO E GASOLINA

Numa publicação da SAE Internacional, os engenheiros responsáveis por um estudo do uso do Hidrogénio como um aditivo da gasolina, defendiam que, a queima do hidrogénio e da Gasolina, juntos, pode ser feita através de uma larga variedade de misturas.

A adição de Pequenas quantidades de hidrogénio à gasolina, aumenta a velocidade da chama em todas as Relações equivalentes da gasolina, tornando possível o motor trabalhar com uma mistura pobre de ar gasolina. Esta necessidade de utilização do hidrogénio nos motores a gasolina aumentou com a crise energética e com fatores como a poluição.

O conceito de utilização de hidrogénio associado à gasolina tem tido mais importância do que a utilização do hidrogénio puro, pois implica modificações menores nos motores. Estas Misturas gasolina e hidrogénio permitem boas prestações, reduzem as emissões poluentes e melhoram a eficiência térmica. Infelizmente, como já foi mencionado o hidrogénio apresenta limitações de armazenamento, e se formos a colocar grandes garrafas de armazenamento num veículo, este perderá qualidades aerodinâmicas pois aumentará o seu peso. Alguns problemas derivam da ausência de sistemas de distribuição.

O ideal será, portanto, com uma mistura pobre de ar – gasolina, utilizar o hidrogénio misturado com esta, sem que a performance do veículo diminua. Nas tabelas seguintes estão apresentados os resultados obtidos da avaliação feita num FIAT FIRE 1242 16v com os diferentes combustíveis, Hidrogénio puro, Gasolina e a mistura dos dois. Os resultados obtidos provam que funcionando com binários baixos, o motor trabalha com hidrogénio puro, ou com mais hidrogénio que gasolina. Podemos observar também que injeções de hidrogénio contribuem para o desenvolvimento de uma chama estável, permitindo o funcionamento do motor com misturas pobres, enquanto com gasolina pura, o motor precisa de funcionar com misturas mais ricas.

Pela relação criada entre as temperaturas dentro dos cilindros, e a formação de NOX, associamos um aumento dessas concentrações nas utilizações de hidrogénio puro, no entanto verificou-se uma diminuição dessas mesmas emissões na mistura gasolina – ar – hidrogénio em comparação com a mistura ar – gasolina.

A redução das emissões de CO<sub>2</sub> também foram verificadas, mas essa redução apenas existe quando o hidrogénio é obtido através de fontes de energia que não sejam fósseis.

No geral verificou-se também uma diminuição dos consumos de gasolina, aquando da sua utilização com o combustível hidrogénio.

| <i>Calculated Torque</i> | <i>Hydrogen equivalence ratio <math>\phi</math></i> | <i>Gasoline equivalence ratio <math>\phi</math></i> | <i>hydrogen/gasoline [% in mass]</i> |
|--------------------------|---|---|--------------------------------------|
| 15 Nm                    | 0.2   | 0.1   | 92 %                                 |
|                          | 0.24  | 0.05  | 201 %                                |
|                          | 0.3   | 0.0   | -                                    |
| 30 Nm                    | 0.2   | 0.18  | 47 %                                 |
|                          | 0.24  | 0.14  | 75 %                                 |
|                          | 0.3   | 0.08  | 159 %                                |
| 45 Nm                    | 0.2   | 0.27  | 33 %                                 |
|                          | 0.24  | 0.23  | 47 %                                 |
|                          | 0.3   | 0.20  | 66 %                                 |
| 60 Nm                    | 0.2   | 0.43  | 21 %                                 |
|                          | 0.24  | 0.34  | 28 %                                 |
|                          | 0.3   | 0.33  | 40 %                                 |
| 75 Nm                    | 0.2   | 0.59  | 15 %                                 |
|                          | 0.24  | 0.54  | 20 %                                 |
|                          | 0.3   | 0.48  | 27 %                                 |

Tabela 5- Mistura de ar com Hidrogênio e Gasolina.

## HIDROGÊNIO E GASOLEO

Este estudo foi apresentado mais uma vez pela SAE Internacional, onde é mencionado que, a Grande dificuldade encontrada nestes motores a diesel, depara-se na autoignição. É muito difícil fazer com que o hidrogénio se auto inflame pelo simples processo de compressão, pois A temperatura de autoignição é muito elevada e a energia mínima de Ignição é consideravelmente baixa.

Estes tipos de motor com gasóleo e hidrogénio foram estudados por alguns investigadores, os Resultados obtidos mostraram uma eficiência térmica comparável com os de gasóleo puro, e numa redução em cerca de 50% da energia necessária. A área mais problemática era o início de “Knocking” muito antes da região estequiométrica.

Em seguida temos uma Tabela que apresenta os consumos médios para diferentes tipos de Automóvel, com combustíveis diferentes, e podemos observar que o consumo de um carro a Trabalhar a hidrogénio é muito pequeno, cerca de 1,1 Kg/100 Km, sendo o que percorreu a Maior distância a seguir ao carro eletrolítico.

| Vehicle                      | Fuel Consumption                | MPGGE |
|------------------------------|---------------------------------|-------|
| Ford Focus (gasoline)        | 7.15 litres gasoline / 100 Km*  | 33    |
| VW Jetta TFI (diesel)        | 5.24 litres diesel / 100 km*    | 40    |
| Honda Civic GX (natural gas) | 3.9 kg natural gas / 100 km *   | 39    |
| Toyota Prius (HEV)           | 4.05 litres gasoline / 100 km * | 58    |
| NECAR 5 (methanol)           | Confidencial                    |       |
| NECAR 4 (hydrogen)           | 1.1 kg hydrogen/ 100 km         | 59    |
| GM EV1 (electricity)         | 20 kWh electricity / 100 km     | 105   |

Tabela 6 - Consumo entre diferentes Carros.

## MANUTENÇÃO DOS GERADORES

Eletrólitos recomendados:

Considerando que a água não conduz eletricidade, você precisa adicionar eletrólitos (compostos químicos) para aumentar o fluxo da corrente elétrica até um nível suficiente.

Utilize a fonte mais pura disponível, com grau de pureza superior a 95%.

Hidróxido de Sódio (NaOH):

NaOH, também conhecido como “soda cáustica” ou “lixívia”, é um eletrólito muito eficiente, altamente condutor e cáustico. O hidróxido de sódio puro é encontrado em forma de pastilhas, flocos, granulado e numa solução com uma saturação de 50%, dissolvido em água. Você pode encontrá-lo em fornecedores de produtos químicos industriais, lojas de hardware, varejistas da Internet, lojas de produtos agrícolas.

Hidróxido de Potássio (KOH):

É o mais eficaz entre os eletrólitos habitualmente utilizados. O hidróxido de potássio está disponível no eBay e em centros de distribuição de químicos online.

## UTILIZAÇÃO DE GERADORES DE HIDROGÊNIO NO INVERNO

O gerador contém água, a qual, mantida sem tratamento, irá congelar em baixas temperaturas, causando danos em potencial ao seu equipamento. Uma solução mais concentrada de KOH/NaOH impede a água de congelar.

A tabela a seguir ilustra as temperaturas de congelamento mais baixas, atingidas quando se adiciona KOH a 1 litro de água destilada.

| TBSP | Grams | Freezing Temperature (C) |
|------|-------|--------------------------|
| 2    | 60    | -5.6                     |
| 3    | 90    | -8.3                     |
| 4    | 120   | -11.1                    |
| 5    | 150   | -13.9                    |
| 6    | 180   | -16.7                    |
| 7    | 210   | -19.4                    |
| 8    | 240   | -22.4                    |

Tabela 7 – utilização de geradores no inverno.

## CONSUMO DE ÁGUA EM GERADORES DE HIDROGÊNIO

Cada veículo é diferente. Em média é necessário cerca de 500 ml de água destilada para cada 1000 km de condução.

Abaixo temos o consumo teórico de água da eletrólise.

Na prática, o consumo de água é um pouco maior devido à evaporação e ao vapor d'água produzido em conjunto com o Hidrogênio.

| Engine Size (L) | Water Usage/Hour (mL) | Km/Litre Water (at 70Km/Hr) |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1               | 5                     | 13454                       |
| 1.3             | 7                     | 10349                       |
| 1.6             | 8                     | 8409                        |
| 1.8             | 9                     | 7474                        |
| 2               | 10                    | 6727                        |
| 2.3             | 12                    | 5850                        |
| 2.5             | 13                    | 5382                        |
| 2.8             | 15                    | 4805                        |
| 3               | 16                    | 4485                        |
| 3.3             | 17                    | 4077                        |
| 3.5             | 18                    | 3844                        |
| 4               | 21                    | 3364                        |
| 4.5             | 23                    | 2990                        |
| 5               | 26                    | 2691                        |
| 5.5             | 29                    | 2446                        |
| 6               | 31                    | 2242                        |
| 7               | 33                    | 2102                        |
| 8               | 37                    | 1869                        |
| 10              | 42                    | 1682                        |
| 12              | 50                    | 1401                        |
| 14              | 56                    | 1246                        |
| 16              | 62                    | 1121                        |

Tabela 8 – consumo de água da eletrólise.

## ALTERAÇÕES NECESSÁRIA A EFETUAR NO COMPUTADOR DO AUTOMÓVEL

A adição de uma célula eletrolítica a um veículo automóvel, requer certas modificações a efetuar no computador dele.

Como é de conhecimento público, hoje em dia um automóvel é constituído por um Controlador electrónico, no qual estão memorizados os parâmetros para o sistema de injeção Funcionar da maneira mais económica possível.

Este surgiu com a necessidade de nos anos 80 ter de se cumprir uma lei que obrigava a ter uma precisão superior a 1% no teor das misturas. A forma conseguida foi medir o valor Exato de combustível a injetar, e de uma maneira mais precisa, seria em vez de calcular esses valores, introduzirem-se na memória do controlador electrónico, o que requer uma Grande quantidade de dados armazenados.

As quantidades exatas a injetar, mediante diferentes condições de carga e velocidade são determinadas no banco de ensaio.

Ao colocar-se o motor a trabalhar, existem dois sensores que medem as duas variáveis atrás referidas, e compara-os com os valores do controlador Electrónico. Quando estes valores não correspondem aos valores introduzidos na memória do Controlador, será efetuada uma interpolação entre os valores mais próximos, calculando-se a Massa de gasolina a injetar.

Estas medições só podem ser feitas de duas maneiras: através da medição direta numa Localização a montante da borboleta do fluxo de ar ou pelo cálculo do caudal à entrada dos Cilindros, pela medição da pressão no coletor de admissão, velocidade do motor e dados relativos à eficiência energética.

Pelo que foi mencionado atrás, e tendo em conta que ao ser colocada uma célula eletrolítica a Queima dentro do cilindro se efetua de uma maneira mais eficiente, o controlador electrónico “pensa” que a quantidade de oxigénio não queimado será a mesma, e quando este não o Detecta, o controlador aumenta o nível de fluxo de combustível para que os níveis de oxigénio Sejam os admitidos na sua memória interna.

Esta ação do controlador implica que a melhoria de quilómetros por litro de combustível possível com a adição do hidrogénio seja prejudicada, aumentando o consumo do veículo.

Os limites considerados por um sensor de banda pequena, maioritariamente utilizado nos Automóveis, para uma mistura ar – combustível são de 14,2:1 até 19,9:1, ao fazer as Comparações indicadas atrás, este gera uma tensão de 0,2V para uma mistura pobre e uma Tensão de 0,8V para uma mistura rica.

Este aumenta a alimentação de combustível quando o Sinal é de 0,2V e diminui-a quando este é de 0,8V. Infelizmente, como os valores introduzido no controlador não correspondem aos valores derivados da introdução da célula, este não consegue emitir o sinal correto, pois ultrapassa a banda de leitura – Fig.10. Esta Particularidade deve ser tida em conta aquando da montagem de uma célula eletrolítica no Motor.

## COMO CONVERTER MOTORES PARA USAR HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL PRINCIPAL

O hidrogênio aprimora a combustão do combustível existente o que resulta em ganhos significativos na economia devido ao fato de que misturas hidrogênio-combustível queimam mais completamente. Porém, os desafios para se produzir hidrogênio suficiente para operar um motor sem gasolina incluem:

- um sistema gerador de HHO excessivamente grande e caro
- a bateria do veículo não é capaz de fornecer a corrente necessária
- o gerador de HHO, o reservatório de água e a bateria externa ocupariam um trailer que deve ser rebocado pelo carro
- é impossível controlar o fluxo de HHO para alcançar as necessidades dinâmicas de um motor à gasolina

Para ilustrar, aqui estão os cálculos para a conversão de um motor bastante pequeno de 1 litro para funcionar 100% em HHO  
Esse motor é avaliado em 50 cavalos, 37 KiloWatts

Perdas ocorrem toda hora que a energia é convertida de uma forma para outra.

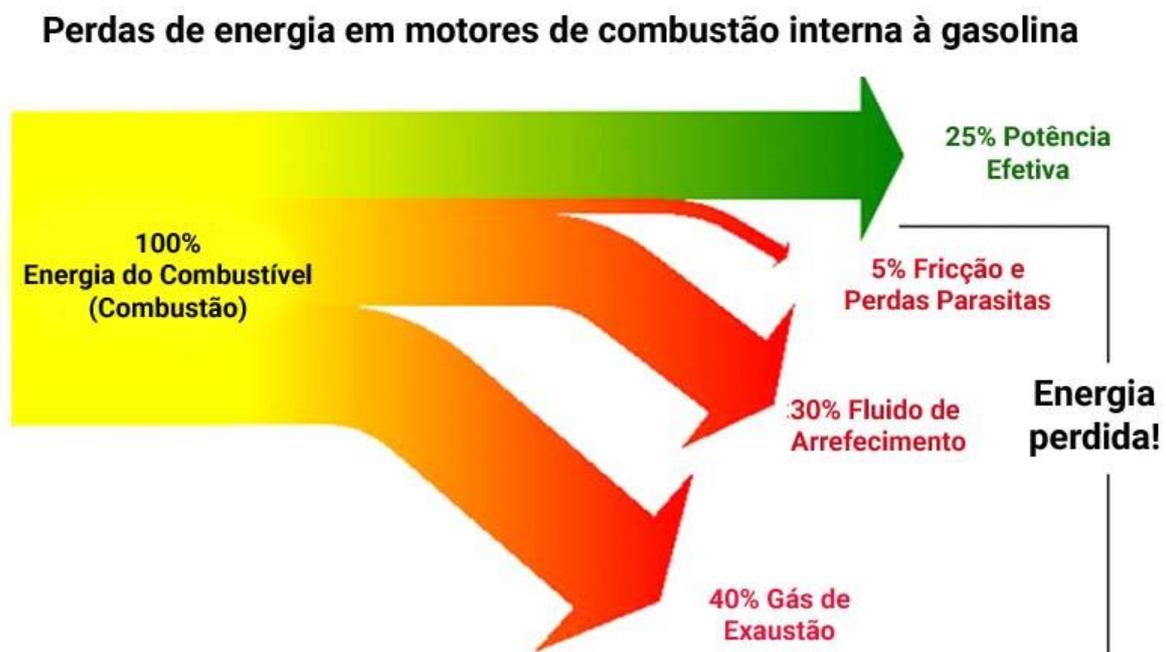


Figura 7 – Cálculos para a conversão de um motor

## perdas de energia no motor

Motores de combustão interna convertem a gasolina em energia mecânica com eficiência de 25%.

Como resultado, o motor requer 148 KW de taxa de energia na entrada (HHO) para produzir uma potência de saída de 37 KW.

Eletrolisadores de consumo são aproximadamente 50% eficientes, então 296 KW de potência elétrica são necessários para se produzir os 148 KW necessários de HHO. Essa potência é retirada da bateria do carro.

Baterias de 12 Volts devem fornecer 25,000 amperes para alcançar 296 KW.

Baterias automotivas podem fornecer 25 amperes por um período estendido e são válidas por 1.5 horas. Nesse exemplo, mesmo que 1000 baterias fossem usadas, o veículo funcionaria somente por 1.5 horas.

Em adição à bateria impraticavelmente grande e um gerador capaz de produzir 1562 litros de HHO por minuto, o desafio de engenharia desse projeto é virtualmente impossível.

Motores de veículos são bastante dinâmicos em seus requerimentos de combustível e podem mudar dramaticamente dentro de uma fração de segundo.

A eletrólise é pouco sensível por natureza, o que significa que você não pode alterar a taxa de fluxo de hidrogênio para cima ou para baixo rapidamente.

Não existe um jeito possível de controlar 25000 amperes e manipular o fluxo de HHO precisamente de forma a alcançar as necessidades dinâmicas de um motor à gasolina e fazer o motor operar corretamente.

Para concluir, se uma fonte de bateria de 296 KW está disponível, seria muito mais eficiente usá-la em um veículo elétrico e evitar todas as perdas de energia do motor à gasolina e do eletrolisador.

## COMO ESCOLHER O EQUIPAMENTO HHO

Equipamento HHO recomendado:

A combinação correta de um gerador de hidrogênio e um controlador eletrônico é necessária para atingir resultados máximos na economia de combustível.

Use o controlador ProTuner

Motores à gasolina consomem combustível em excesso, enquanto veículos à diesel operam sob um excesso de ar. Essas tecnologias totalmente diferentes exigem abordagens diferentes.

Better Fuel desenvolveu soluções únicas para reduzir efetivamente o consumo de combustível em ambos os tipos de motores.

## COMO SELECIONAR UM GERADOR DE HIDROGÊNIO

A escolha de gerador é determinada pelo tamanho do motor do veículo no qual você planeja instalar este equipamento.

| <i>tamanho do motor</i> | <i>gerador de hidrogênio</i> |
|-------------------------|------------------------------|
| 0-4.0                   | CarKit                       |
| 4.1-8.0                 | SuperKit                     |
| 8.1-12.0                | TrucKit                      |
| 12.1-16.0               | ProKit                       |

Tabela 9 – seleção do gerador.

## EFEITO DO HIGROGÊNIO EM DIFERENTES TIPOS DE MOTORES

Veículos com injeção eletrônica são equipados com múltiplos sensores. A ECU (Unidade de Controle do Motor) monitora todos os sensores e é programada para esperar um certo comportamento “normal”.

Hidrogênio altera as propriedades de combustão do combustível existente. Quando os sensores detectam essa condição inesperada, a ECU responde adicionando mais combustível e anulando a melhoria na economia de combustível.

Se os sensores não estiverem ajustados corretamente, haverá mais força e torque, mas nenhuma economia de combustível.

## EFEITO DO HIDROGÊNIO NAS EMISSÕES

A adição de Hidrogênio a um motor de combustão interna resultará em uma combustão mais completa e mais rápida do combustível existente.

Uma combustão mais rápida e completa significa que mais energia será transferida mecanicamente para o motor, ao invés de calor perdido através do escape. Isso tem um impacto positivo, não apenas na potência e na economia, mas também nas emissões (como exemplificado no relatório de teste realizado pela \*Eurofins, mostrado abaixo).

A velocidade muito maior da propagação da chama de Hidrogênio é responsável por isso, e é frequentemente considerada como uma espécie de “vela de ignição” gigante no motor que queima todo o combustível.

Resumindo, as emissões de veículos são compostas, em sua maioria, de 5 gases (o número 6 é aplicável apenas a motores a diesel):

1. HC
2. NO<sub>x</sub>
3. O<sub>2</sub>
4. CO
5. CO<sub>2</sub>
6. Material particulado (PM)

1. HC – Os hidrocarbonetos são essencialmente partículas de combustível que não foram queimadas e passam por todo o motor, pelo escapamento e eliminadas na atmosfera. Esse gás

é o que causa a “smog” nas nossas cidades. Os hidrocarbonetos se reduzem em 30 a 40% geralmente.

2. NOX – O monóxido de hidrogênio e óxidos adicionais são responsáveis pela “chuva ácida” que aparece em áreas como Los Angeles.

As emissões de NOX estão fortemente relacionadas à temperatura de combustão. À medida que a temperatura de combustão excede 1527 °C (2870°F), óxidos de nitrogênio são formados, e qualquer aumento de temperatura resultará em aumentos consideráveis nas emissões.

Quando o Hidrogênio é adicionado ao motor, a conseqüente diminuição na temperatura de combustão ajuda a diminuir esse gás particularmente entorpecente.

Reduções de 20 a 25% são comuns em motores a diesel. Já nos motores a gasolina, o mais comum são reduções de 50%.

Resultados mais significativos, de até 95%, foram reportados em aplicações de mistura pobre, como motores a gasolina altamente “tunados” ou motores movidos a gás natural que buscam grandes aumentos na economia de combustível.

Nitrogen monoxide NOx, Carbon Monoxide CO, emission reduction by hydrogen HHO

3. O<sub>2</sub> – O oxigênio NÃO É POLUENTE, além de ser necessário para nossa existência. Perceba o aumento significativo de oxigênio limpo, conforme medido por detectores de 5 gases.

4. CO – Omonóxido de carbono. Esse gás claro e inodoro, mas ainda assim mortal, tem uma redução de 25 a 50%.

5. CO<sub>2</sub> – Odióxido de carbono, responsável pelo efeito estufa em nosso planeta, tem tipicamente uma redução de 40 a 60%

6. PM – Material Particulado são as “partículas sólidas e pequenas gotas de líquido” no escapamento dos motores a diesel, conhecidas como “fuligem”. Considerando que o Hidrogênio é diretamente responsável por uma combustão mais completa, a redução na emissão dessas partículas é reduzida drasticamente. Em geral, verificam-se reduções de 70 a 80%, com relatos frequentes de 90% ou mais.

Cummins KTA-38  
Eurofins test results onboard Hydrogen on demand generation.

| Measurement                | Without HHO                 |       | With HHO                    |      | Delta   | Avoided emissions at 2500 running h |
|----------------------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|------|---------|-------------------------------------|
|                            | % Vol<br>mg/Nm <sup>3</sup> | g/h   | % Vol<br>mg/Nm <sup>3</sup> | g/h  |         |                                     |
| O <sub>2</sub> (% Vol)     | 14,7                        | ~     | 16,9                        | ~    | +14,97  | ~                                   |
| CO <sub>2</sub> (% Vol)    | 4,6                         |       | 2,3                         |      | - 50,00 | 159 ton/year                        |
| CO (mg/ Nm <sup>3</sup> )  | 679                         | 784   | 504                         | 453  | - 25,77 | 828                                 |
| NOx (mg/ Nm <sup>3</sup> ) | 1645                        | 1898  | 1332                        | 1189 | - 19,03 | 1773                                |
| PM (mg/ Nm <sup>3</sup> )  | 187                         | 215,8 | 41,2                        | 37,1 | - 77,97 | 446,75                              |

Tabela 10 - Emissões relacionadas a temperatura de combustão.

## EXCESSO DE HIDROGÊNIO NO MOTOR

Usar hidrogênio é bom. Mas é um erro comum achar que quanto mais, melhor.

O hidrogênio aprimora a combustão do combustível existente o que resulta em ganhos significativos na economia devido ao fato de que misturas hidrogênio-combustível queimam mais completamente.

Mas existe um limite bem definido e provado para esse efeito. Em termos simples, se 100% do combustível já estiver sendo queimado, adicionar mais hidrogênio não pode aprimorar mais ainda a eficiência. Exceder a quantidade ótima de hidrogênio irá na verdade diminuir a eficiência do motor.

engine fuel combustion cycle

O hidrogênio queima 10X mais rápido do que a gasolina.

A combustão de hidrogênio em excesso ocorre no tempo incorreto dentro do ciclo do motor e compete com o movimento do pistão.

Um motor projetado para usar hidrogênio como combustível primário cria a faísca quando o pistão está no topo de seu movimento.

Motores à gasolina faíscam muito antes enquanto o pistão ainda está subindo. Se estiver presente hidrogênio em excesso num motor à gasolina, sua combustão rápida age contra o movimento do pistão.

Ao fornecer hidrogênio demais para um motor, nossos laboratórios de pesquisa conseguiram reduzir a eficiência do motor em 26% e observaram operação irregular.

Tome nota, o hidrogênio foi produzido por uma fonte externa e não gerou carga adicional ao motor sob teste.

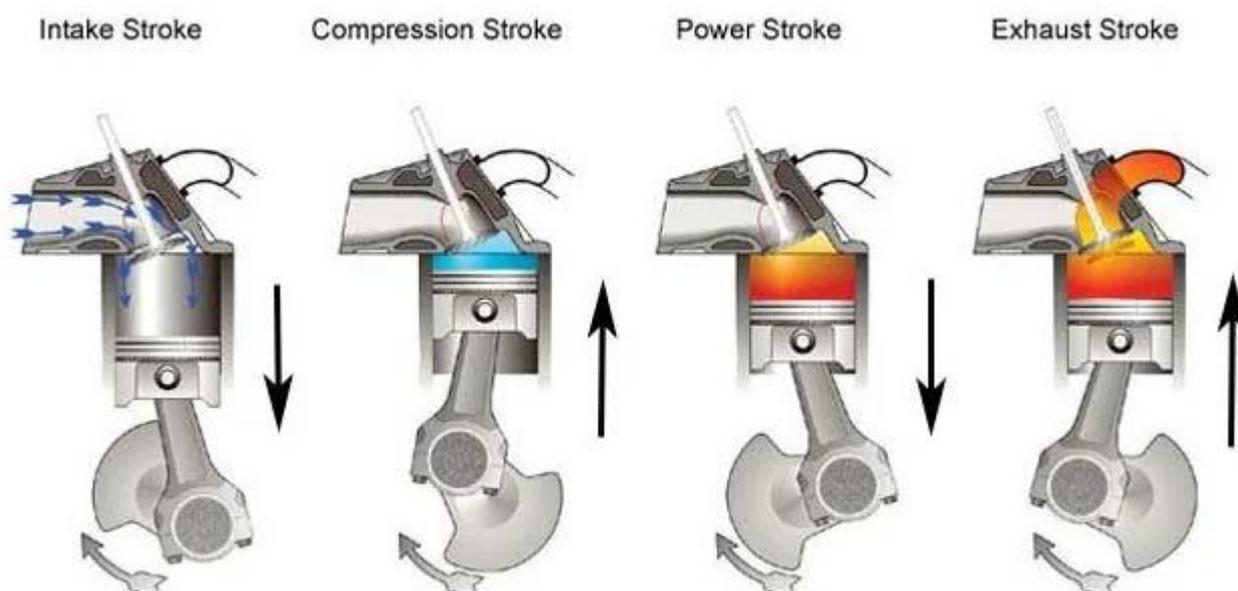


Figura 8 – Combustão do hidrogênio.

## COMO CALCULAR A PRODUÇÃO MÁXIMA DE HIDROGÊNIO

A geração de Hidrogênio é baseada na eletrólise, que é governada pelas leis da física. Esse processo foi estudado quase 200 anos atrás por Michael Faraday, que posteriormente publicou “As Leis da Eletrólise de Faraday”.

Essas leis estabelecem que uma célula de eletrólise que opera a uma determinada corrente (amperes) produzirá uma quantidade conhecida de Hidrogênio. As duas considerações principais são o número de placas de eletrodo e a área real de superfície ativa. A área ativa é a área da superfície das placas menos a área das juntas.

Calculation of maximum Hydrogen output Faraday laws of electrolysis

Por exemplo, se um gerador tem placas de 20 cm e juntas de 13 mm de largura:

A área da placa é 20 cm X 20 cm = 400 cm<sup>2</sup>

A área ativa é de 17,4 cm X 17,4 cm = 303 cm<sup>2</sup>

O número de 303 cm<sup>2</sup> deve ser utilizado para os cálculos.

Michael Faraday também demonstrou que as células de eletrólise podem suportar até 0,084 amperes por centímetro quadrado sem sobreaquecimento. Esse é o padrão utilizado para desenvolver um gerador de Hidrogênio.

Portanto, o gerador de 303 cm<sup>2</sup> pode suportar até 25,4 amperes de corrente.

O número de placas também é muito importante. Se houver muito poucas, o gerador apresentará uma baixa produção de Hidrogênio e superaquecerá. Se houver uma quantidade muito grande, o gerador pode simplesmente não funcionar.

Para veículos de 12 volt, o número ideal de placas é sete, o que cria seis células de eletrólise dentro do gerador.

Como simplificação matemática das leis de Faraday, um gerador de 7 placas produzirá 64 ml/minuto de Hidrogênio para cada 1 ampere.

Portanto, o gerador em nosso exemplo terá uma saída máxima de 1.6 LPM (64 ml x 25.4 amps)

## DESENHO TÉCNICO

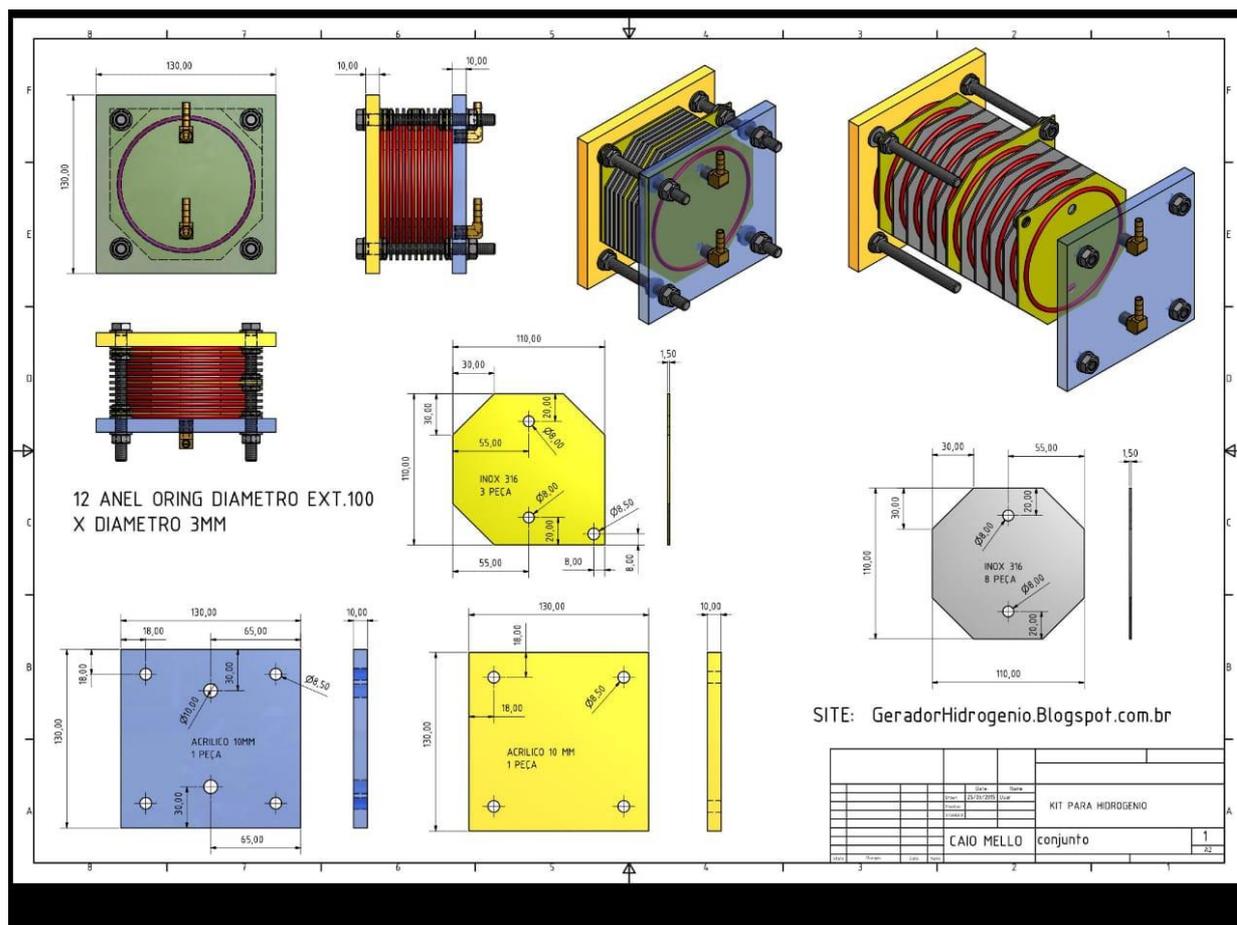


Figura 9 – Célula de Hidrogênio

## CÉLULA DE HIGROGÊNIO APLICADA

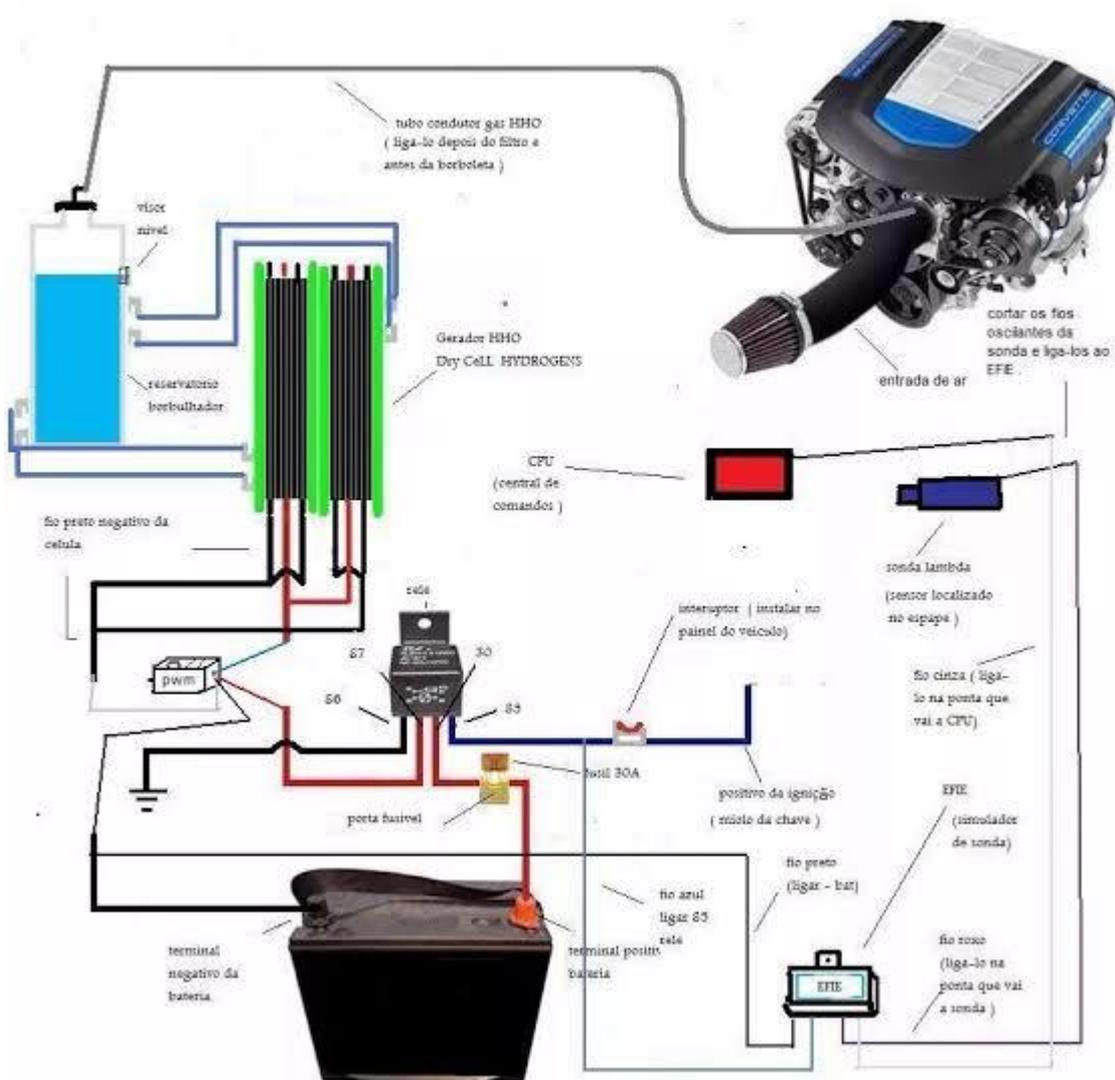


Figura 10 – Célula de hidrogênio aplicada em um motor veicular

## EXPERIÊNCIAS DA NASA COM HIDROGÊNIO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Diretamente de um artigo de 1977 da \*NASA:

“A combustão com mistura fraca em motores de combustão interna tem o potencial de produzir menos emissões e alta eficiência térmica, por várias razões.

Em primeiro lugar, o excesso de oxigênio oxida mais os hidrocarbonetos não queimados e o monóxido de carbono. Em segundo lugar, o excesso de oxigênio reduz as temperaturas de pico de combustão, o que inibe a formação de óxidos de nitrogênio. Em terceiro, as temperaturas reduzidas aumentam a relação do calor específico ao reduzir as perdas de dissociação. Em quarto lugar, enquanto a proporção de calor específico aumenta, a eficiência térmica do ciclo também aumenta, o que oferece um potencial para melhor economia de combustível.”

Resumindo:

Motores que utilizam Hidrogênio são mais eficientes porque uma maior quantidade de energia do combustível é aproveitada como energia mecânica, e uma menor quantidade é desperdiçada na forma de calor.

Isto se evidencia para o usuário como uma economia de combustível maior, temperaturas de combustão mais baixas e uma temperatura de exaustão de aproximadamente 100 ° C a menos.

A combustão auxiliada pelo Hidrogênio acontece de maneira mais rápida e completa. A mesma quantidade de combustível queima de maneira mais completa, trazendo mais potência. Essa potência se traduz em energia mecânica, ao invés de calor

Ademais, a força gerada atua no momento certo; no início do ciclo de combustão do motor. NÃO mais tarde, quando o pistão já está na metade do caminho ou PIOR ainda, durante o retorno no ciclo de EXAUSTÃO.

Combustão residual na carreira de exaustão impede a rotação do motor (reduzindo a economia), aumenta a temperatura de exaustão e encurta a vida das válvulas de escape.

<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19770016170.pdf>

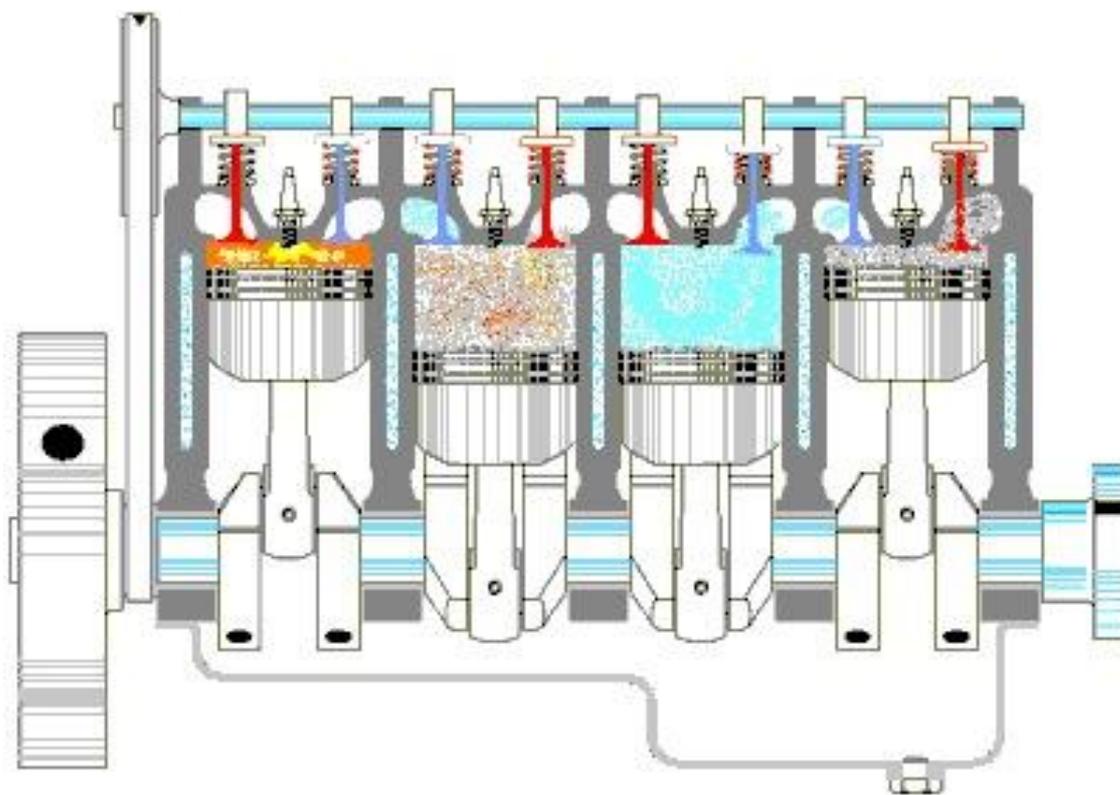


Figura 11 – Ciclo de exaustão. (<https://www.hho-1.com/wp-content/uploads/2016/07/engine.gif>)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste estudo concluímos que ao adquirir a célula de hidrogênio temos não só economia como precisão, sem contar que não é um método poluente. A célula pode ser usada tanto para combustível quanto para gás de cozinha, gerando mais economia.

Um carro com célula a combustível e abastecido com hidrogênio praticamente não vaza óleo, não emite ruído e poluentes, além de ser entre duas e três vezes mais eficiente que um carro com motor a combustão. As células a combustível possuem alta eficiência elétrica, não gera poluentes e podem ser estacionárias ou móveis. Uma célula de combustível funciona como uma bateria, usando gases hidrogênio e oxigênio como reagentes.

A molécula de hidrogênio é dividida em dois prótons, que passam através de uma membrana de troca de prótons e atingem o cátodo, e dois elétrons no ânodo. Os subprodutos são água e calor. Por meio de uma reação eletroquímica, as células convertem o hidrogênio e oxigênio em eletricidade.

Já para o gás de cozinha também conseguimos muita economia e praticidade, e é um investimento que podemos aderir gastando muito menos do que comprando o gás tradicional de cozinha. Com a compra de um gás tradicional podemos investir na nossa própria produção de gás hidrogênio e adquirir muito mais eficácia.

A utilização dessas novas tecnologias é de grande importância, principalmente em um ambiente que se torna cada vez mais poluído, e a utilização do hidrogênio com uma forma de produção de motores mais limpos, que não produzem nem um tipo de efeito ao meio, vem sendo algo tanto inovador como necessário. A implementação de mais políticas voltadas para o desenvolvimento dessas tecnologias assim, e não só desenvolvimento, mas também para a implementação dessas tecnologias no mercado seria algo bom para a conservação do ambiente.

## REFERÊNCIAS

AL-ROUSAN, Ammar A. Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing Hho Gas into intake manifold. International Journal Of Hydrogen Energy, Amsterdam, p. 1293012935, ago. 2010.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDO ESTRATÉGICO (CGEE). Hidrogênio energético no Brasil: ciência, tecnologia e inovação. Brasília, n. 68, p. 01-69, ago. 2010. Disponível em: [www.cgEE.org.br/publicacoes/hidrogenio.php](http://www.cgEE.org.br/publicacoes/hidrogenio.php). Acesso em: 21 mar. 2013.

MAMEDE DOS SANTOS, Fernando Miguel Soares. O combustível “hidrogênio”. 2003.

Disponível em: <http://www.ipv.pt/millennium/millennium31/15.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2013.

NETO R. L.; MOREIRA, J. R. S. Geração e combustão do hidrogênio obtido através do processo de eletrólise da água. Portal de química. Leis da Eletrólise. 2007. Disponível em: <http://www.soq.com.br/conteudos/em/eletroquimica/p6.php>. Acesso em: 10 fev. 2013.

PINTO, C. F.; SICHIERI, P. O hidrogênio na arquitetura: um modelo sustentável a seguir. São Paulo: EESC/USP. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2010.

PORTAL DE QUÍMICA. Leis da Eletrólise. Disponível em: <http://www.soq.com.br/conteudos/em/eletroquimica/p6.php>. Acesso em: 4 fev. 2013.

PORTAL EDUCAR. USP. Eletrólise. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/quimapoio/celulaseletroliticas.html>. Acesso em: 4 fev. 2013.

SALIBA-SILVA, A. M.; LINARDI, A. Hidrogênio nuclear: possibilidades para o Brasil. Centro de Células a Combustível e Hidrogênio, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/ SP), São Paulo, SP, Brasil, 2009.

SANTOS JÚNIOR, A. C. F. Análise da viabilidade econômica da produção de hidrogênio em usinas hidrelétricas: estudo de caso em Itaipu. 2004. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SARAVANAN, N.; NAGARAJAN, G. Na experimental investigation of hydrogen-enriched air induction in a diesel engine system. International Journal Of Hydrogen Energy, Amsterdam, p. 1769-1775, fev. 2008.

SILVA, J. M. P. da. Produção de hidrogênio por electrólise da água do mar com benefícios de impacto ambiental. Vila Nova de Gaia, PO: Colégio Internato dos Carvalhos.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de. Aproveitamento de energia hidroelétrica secundária para a produção de hidrogênio eletrolítico. 1998. 211 f. Tese (Doutorado em Planejamento de

Sistemas Energéticos) – Departamento de Engenharia Térmica e Fluidos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SOUZA FILHO, João Sales de. Caracterização de um eletrolisador bipolar para produção de hidrogênio visando o uso de painéis fotovoltaicos como fonte de energia. 2008. 113

f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2008.

VARGAS, R. A. et al. Hidrogênio: o vetor energético do futuro? São Paulo: Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais (CCTM), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

YILMAZ, Ali Can; ULUDAMAR, Erinc; AYDIN, Kadir. Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines. International Journal Of Hydrogen Energy, Amsterdam, p. 11366-11372, 2010.

**Etec "Prof.<sup>a</sup> Anna de Oliveira Ferraz"**

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO**

**Depósito e disponibilização dos Trabalhos de Conclusão de Curso no  
Repositório Institucional do Conhecimento (RIC-CPS)**

Nós, alunos abaixo assinados, regularmente matriculados no curso Técnico em **Mecânica** na qualidade de titulares dos direitos morais e patrimoniais de autores do Trabalho de Conclusão de Curso **Célula de Hidrogênio**, apresentado na Etec Profa. Anna de Oliveira Ferraz, município \_\_\_\_\_, sob a orientação do(a) Prof.<sup>(a)</sup>: **Donizeti Roberto Pereira**, apresentado na data **26/11/2021**, cuja menção (nota) é \_\_\_\_\_:

( X ) Autorizamos o Centro Paula Souza a divulgar documento, abaixo relacionado, sem ressarcimentos de Direiros Autorais, no Repositório Institucional do Conhecimento (RIC-CPS) e em outros ambientes digitais institucionais, por prazo indeterminado, para fins acadêmicos, a título de divulgação da produção científica gerada pela unidade, com fundamento nas disposições da Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998 e da Lei nº 12.853, de 14 de agosto de 2013.

( ) Não autorizamos o Centro Paula Souza a divulgar o conteúdo integral, do documento abaixo relacionado, até a data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_. Após esse período o documento poderá ser disponibilizado sem ressarcimentos de Direiros Autorais, no Repositório Institucional do Conhecimento (RIC-CPS) e em outros ambientes digitais institucionais, por prazo indeterminado, para fins acadêmicos, a título de divulgação da produção científica gerada pela unidade, com fundamento nas disposições da Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998 e da Lei nº 12.853, de 14 de agosto de 2013.

( ) Não autorizamos a divulgação do conteúdo integral do documento abaixo relacionado, sob a justificativa:

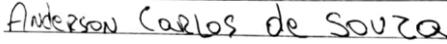
O trabalho contou com agência de fomento<sup>1</sup>: ( ) Não ( ) CAPES ( ) CNPq ( ) Outro (especifique): \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Agência de fomento à pesquisa: instituições que financiam projetos, apoiam financeiramente projetos de pesquisa.

**Etec "Prof.<sup>a</sup> Anna de Oliveira Ferraz"**

Atestamos que todas as eventuais correções solicitadas pela banca examinadora foram realizadas, entregando a versão final e absolutamente correta.

Araraquara, 26 de setembro de 2021.

| Nome completo dos autores | RG           | E-mail pessoal             | Assinatura  |
|---------------------------|--------------|----------------------------|---|
| Abner Marcelo de Souza    | 55.527.406-8 | abnersantos2809@gmail.com  |  |
| Anderson Carlos de Souza  | 43.963.606-1 | Trutacom36@gmail.com       |  |
| Laura Faustino            | 60.562.258-9 | Laurafaustino375@gmail.com |  |

Cientes:

**Professor Orientador:**



Nome completo: Donizeti Roberto Pereira

RG:

**Coordenador do Curso:**



Nome completo: Edgar Bergo Coroa

Edgar Bergo Coroa  
RG: 23.317.671-8  
Coordenador do Curso de  
Mecânica

**Etec "Prof.ª Anna de Oliveira Ferraz"**  
**DECLARAÇÃO DE AUTENTICIDADE**

Nós, alunos abaixo assinados, regularmente matriculados no curso **Técnico em Mecânica** na **ETEC "Profª Anna de Oliveira Ferraz"**, declaramos ser os autores do texto apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso com o título "**Célula de Hidrogênio**".

Afirmamos, também, ter seguido as normas da ABNT referente às citações textuais que utilizamos, dessa forma, creditando a autoria a seus verdadeiros autores (Lei n.9.610, 19/02/1998).

Através dessa declaração damos ciência da nossa responsabilidade sobre o texto apresentado e assumimos qualquer encargo por eventuais problemas legais, no tocante aos direitos autorais e originalidade do texto.

Araraquara, 26 de setembro de 2021.

| Nome                     | RG           | Assinatura                            |
|--------------------------|--------------|---------------------------------------|
| Abner Marcelo de Souza   | 55.527.406-8 | <i>Abner Marcelo Souza dos Santos</i> |
| Anderson Carlos de Souza | 43.963.606-1 | <i>Anderson Carlos de Souza</i>       |
| Laura Faustino           | 60.562.258-9 | <i>Laura Faustino</i>                 |