



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**

**CAMPUS CERRO LARGO**

**CURSO DE AGRONOMIA**

**LEANDRO DE MEDEIROS ZIRR**

**CONSUMO DE MOTOR À DIESEL ASSOCIADO COM GERADOR DE  
HIDROGÊNIO**

**CERRO LARGO**

**2017**

**LEANDRO DE MEDEIROS ZIRR**

**CONSUMO DE UM MOTOR À DIESEL ASSOCIADO COM GERADOR DE  
HIDROGÊNIO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção de  
grau de Bacharel em Agronomia da  
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador Prof. Dr. Marcos Antônio Zambillo  
Palma

**CERRO LARGO**

**2017**

Zirr, Leandro de Medeiros  
CONSUMO DE MOTOR A DIESEL ASSOCIADO COM GERADOR DE  
HIDROGÊNIO/ Leandro de Medeiros Zirr. -- 2017.  
37 f.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Zambillo Palma.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
AGRONOMIA , Cerro Largo, RS, 2017.

1. INTRODUÇÃO. 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . 3. MATERIAS  
E MÉTODOS . 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES . 5.  
CONSIDERAÇÕES FINAIS . I. Palma, Prof. Dr. Marcos  
Antônio Zambillo, orient. II. Universidade Federal da  
Fronteira Sul. III. Título.

LEANDRO DE MEDEIROS ZIRR

CONSUMO DE UM MOTOR À DIESEL ASSOCIADO COM GERADOR DE  
HIDROGÊNIO

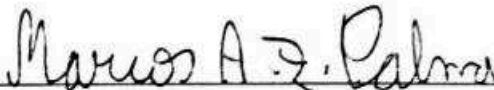
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da  
Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcos A. Z. Palma

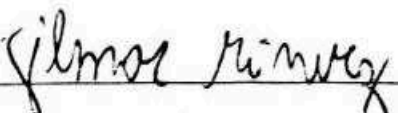
Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

07/12/2017

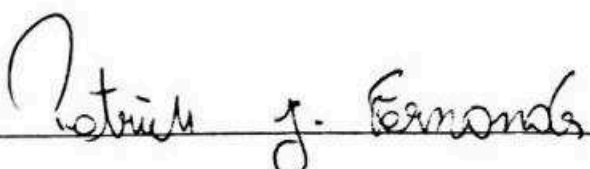
BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Marcos Antônio Z. Palma – UFFS

  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Gilmar Roberto Meinerz – UFFS

  
\_\_\_\_\_

Eng. Agr. Patrick J. Fernandes

## RESUMO

Atualmente os motores Ciclo Diesel são os mais empregados no segmento da produção agrícola e dos transportes. Sua economia impacta no preço de quase todos os demais setores, sejam eles produção de alimentos, roupas, equipamentos, eletrodomésticos ou qualquer outro setor que dependa de algum transporte. O objetivo do presente trabalho consiste em utilizar uma célula eletrolítica que produza hidrogênio na forma de (HHO) a partir de água destilada com hidróxido de sódio (NAOH) ou bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>), através da eletrólise, com o intuito de associação da mesma com motor a diesel, com a finalidade de reduzir o consumo de diesel pelo motor. Onde foi avaliado o consumo de óleo diesel do motor sem associação da célula, com associação da célula e avaliado se há, realmente, diferenciação no consumo de óleo diesel pelo motor associado à célula de hidrogênio. Como resultado observou-se que a utilização de hidrogênio, na forma de gás HHO, em motores de combustão interna ciclo Diesel, é eficiente e pode gerar uma economia significativa de combustível, uma vez que a solução utilizada seja água + hidróxido de sódio.

Palavras-chave: Ciclo Diesel; Economia; Hidrogênio; Célula eletrolítica; Sistema dual.

## **ABSTRACT**

Currently, Cycle Diesel engines are more used in the agricultural production and transportation sectors. Its economy impacts on the price of almost all the other sectors, they are production of foods, clothes, equipment, appliances or any other sector that depends of some transport. The objective of the present paper consists of using an electrolytic cell that produces hydrogen in the form of HHO from distilled water with sodium hydroxide (NaOH) or sodium bicarbonate (NaHCO<sub>3</sub>), through the electrolysis, with the intention of associating the same with a diesel engine, with the purpose of reducing diesel consumption by the engine. Where was evaluated the diesel consumption of the engine without the association of the cell, with the association of the cell and if there is really a differentiation in the consumption of diesel by the engine associated with the cell of hydrogen. As a result, it has been observed that the use of hydrogen in the form of HHO gas in diesel cycle internal combustion engines is efficient and can generate significant fuel economy, once the solution used is water + sodium hydroxide.

Keywords: Diesel cycle; Economy; Hydrogen; Electrolytic cell; Dual system.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação da eletrólise da água.....	17
Figura 2 – Representação da montagem de uma célula eletrolítica.....	23
Figura 3 – Placa de aço inoxidável.....	25
Figura 4 – Isolante de borracha 3mm.....	25
Figura 5 – Placa de polietileno .....	26
Figura 6 – Conexão metálica.....	26
Figura 7 - Borbulhador .....	26
Figura 8 – Esquema de funcionamento do Gerador de Hidrogênio .....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de Variância - ANOVA .....	311
Tabela 2 - Teste de Tukey .....	32



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS .....	10
1.1.1 Objetivo geral .....	10
1.1.2 Objetivos específicos .....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
2.1 CONTEXTO HISTÓRICO .....	11
2.3 IMPORTÂNCIA DOS MOTORES CICLO DIESEL NA AGRICULTURA .	12
2.2 HIDROGÊNIO .....	14
2.3 HIDROGÊNIO COMBUSTÍVEL – PRODUÇÃO VIA ELETRÓLISE DA ÁGUA.....	16
2.4 ELETRÓLITOS .....	18
2.5 CUSTO DA TECNOLOGIA .....	20
2.6.3 Célula eletrolítica .....	22
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
3.1 MOTOR UTILIZADO .....	24
3.2 GERADOR DE HIDROGÊNIO .....	24
3.3 COMPONENTES DO GERADOR DE HIDROGÊNIO.....	24
3.3.1 Célula eletrolítica .....	24
3.3.2 Borbulhador .....	26
3.3.3 Mangueiras .....	27
3.3.4 Conexões elétricas .....	27
3.4 MONTAGEM DO GERADOR DE HIDROGÊNIO.....	27
3.5 FUNCIONAMENTO DO GERADOR DE HIDROGÊNIO DO EXPERIMENTO.....	27
3.6 TRATAMENTOS .....	28
3.6.1 Determinação dos tratamentos .....	28
3.6.2 Avaliação dos tratamentos .....	29
3.6.3 Testes com os tratamentos .....	29
3.7 AVALIAÇÃO DOS DADOS .....	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>34</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Atualmente os motores Ciclo Diesel são os mais empregados no segmento da produção agrícola e dos transportes. Sua economia impacta no preço de quase todos os demais setores, sejam eles produção de alimentos, roupas, equipamentos, eletrodomésticos ou qualquer outro setor que dependa de algum transporte.

Com o crescimento da população e de suas necessidades, cada vez busca-se fontes energéticas mais eficientes e ecologicamente mais interessantes, uma vez que quanto melhor a matriz energética mais produtiva pode ser a sociedade e melhor pode ser sua qualidade de vida.

Essa busca é focada em fontes que sejam adaptáveis ao nosso atual sistema de produção, eis então que surgem as pesquisas com o uso do hidrogênio, o qual pode ser empregado na forma de combustível auxiliar em motores Ciclo Diesel gerando economia do mesmo, dessa forma causando menor impacto ambiental que o uso do combustível isolado.

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo geral**

Utilizar uma célula eletrolítica que produza hidrogênio na forma de HHO a partir de água destilada com hidróxido de sódio (NaOH) ou bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>), através da eletrólise, com o intuito de associação da mesma com motor a diesel, com a finalidade de reduzir o consumo de diesel pelo motor.

#### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Mensurar a quantidade de consumo de diesel do motor com associação de célula eletrolítica .
- Avaliar se há realmente diferenciação no consumo de diesel pelo motor associado à célula de hidrogênio.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Segundo a Política Nacional de Energia – PNE 2030, o setor de transportes, principalmente, e o setor agropecuário, refletindo o aumento da produção nacional de produtos primários, foram os segmentos responsáveis pela expansão do diesel na matriz de consumo de combustíveis líquidos (EPE, 2007).

Ainda de acordo com a PNE 2030, com o Balanço Energético Nacional, o setor de transportes, em 2004, consumiu 78% do diesel ofertado, e, embora, representando apenas 7% da demanda de combustíveis, o setor agropecuário consumiu 14% do diesel ofertado.

Contudo, as reservas de combustível fóssil não são ilimitadas e a sua utilização tem impactos ambientais consideráveis como, por exemplo, o aumento do efeito estufa e as conseqüentes alterações do clima (Longo et al 2008). O uso de tecnologias alternativas a estes combustíveis pode, além de acarretar uma maior economia no consumo, diminuir a emissão de gases poluentes, tornando-se uma alternativa sustentável.

### **2.1 CONTEXTO HISTÓRICO**

O óleo diesel é um combustível fóssil originado do petróleo, usado amplamente na agricultura como fonte de energia para motores ciclo diesel, presentes em tratores, colheitadoras, autopropelidos, caminhões.

O primeiro modelo do motor a diesel que funcionou de forma eficiente data do dia 10 de agosto de 1893, criado por Rudolf Diesel, do qual originou sua denominação. Alguns anos depois, em 1898, o motor foi apresentado oficialmente na Feira Mundial de Paris. Os primeiros motores tipo diesel eram de injeção indireta e alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais e até mesmo por óleos de peixe (BIODIESELBR, 2006).

Segundo Tillmann (2013), os motores de combustão abastecidos a diesel e a gasolina multiplicaram-se aos milhões, evidenciando uma clara dependência ao petróleo com conseqüente esgotamento como importante fonte de energia. Com as crises do petróleo, a humanidade percebeu que poderia haver limites nos estoques, que se tratava de uma fonte esgotável e que essa dependência comprometeria o futuro energético do planeta

(TILLMANN, 2013).

Desta forma, o desenvolvimento tecnológico contribui significativamente para a superação de desafios ligados a um abastecimento energético confiável, eficiente, seguro, ambientalmente aceitável e econômico, em benefício da sociedade.

Uma tecnologia que ofereça qualidade superior, mesmo a custos eventualmente mais elevados, pode mudar drasticamente o estilo de vida e a forma do uso de energia pela população. A larga difusão do uso de eletricidade a partir do final do século XIX, por exemplo, proporcionou mudanças significativas nos processos produtivos e no padrão de vida das pessoas. Se, por sua vez, as máquinas a vapor alimentadas por carvão estimularam a industrialização, os motores de combustão interna proporcionaram melhores condições de transporte (EPE, 2007).

Equipamentos mais eficientes têm sido colocados à disposição da população, contribuindo para uma maior eficiência energética e econômica. Entre eles, o etanol, o carro híbrido, o carro elétrico, entre outros, são alternativas que se colocam para a oferta de energia no setor transportes.

No entanto, os combustíveis fósseis são um bem escasso, na posse de apenas alguns países, o que conseqüentemente provoca a escalada mundial dos seus preços. Estes combustíveis, além dos seus preços elevados, têm outro aspecto contra, os elevados níveis de poluição derivados da sua utilização.

Diante disto, atualmente, enfrentamos um novo desafio em termos energéticos, e acordo com este panorama, tem-se procurado uma forma alternativa e competitiva de produzir energia que possa vir a substituir estes combustíveis, tais como o biogás, o gás natural, o óleo vegetal, esteres de álcoois e também combustíveis hidrogenados. Neste contexto, o hidrogênio (H<sub>2</sub>) surge como uma alternativa.

### 2.3 IMPORTÂNCIA DOS MOTORES CICLO DIESEL NA AGRICULTURA

O diesel é um combustível fóssil originado do petróleo, é usado amplamente na agricultura como fonte de energia para motores ciclo diesel, presentes em tratores, colhedoras, autopropelidos, caminhões, etc.

Segundo o MME (Ministério de Minas e Energia), no ano de 2016 o

Brasil consumiu mais de 62 mil metros cúbicos de diesel, sendo o setor agropecuário responsável por 13% desse consumo (calculado com base na tabela do MME), ficando atrás apenas do setor de transportes (81,7%), o qual é intimamente ligado à agricultura no transporte desde insumos até a produção do setor.

Quadro 1 - Balanço energético brasileiro do ano de 2015

Fluxo	Petroleo	Gás natural	Carvão vapor	Carvão metal	Urânio	Hidráulica	Lenha	Prod. Cana	Outr. Prim.	Total primários	Óleo diesel
PRODUÇÃO	126.127	34.871	3.066	0	512	30.938	24.519	50.424	16.013	286.471	0
IMPORTAÇÃO	15.377	16.198	5.638	7.625	2.159	0	0	0	0	46.997	5.885
VARIAÇÃO DE ESTOQUES	-1.165	0	-337	56	-1.701	0	0	0	8	-3.139	313
OFERTA TOTAL	140.339	51.069	8.367	7.681	971	30.938	24.519	50.424	16.021	330.329	6.199
EXPORTAÇÃO	-38.050	0	0	0	0	0	0	0	0	-38.050	-651
NAO APROVEITADA	0	-1.377	0	0	0	0	0	0	0	-1.377	0
REINJEÇÃO	0	-8.722	0	0	0	0	0	0	0	-8.722	0
OFERTA INTERNA BRUTA	102.288	40.971	8.367	7.681	971	30.938	24.519	50.424	16.021	282.180	5.548
TOTAL TRANSFORMAÇÃO	-101.841	-21.737	-4.503	-7.676	-971	-30.938	-7.849	-21.757	-9.008	206.278	42.511
REFINARIAS DE PETROLEO	-99.972	0	0	0	0	0	0	0	-3.783	-103.755	42.248
PLANTAS DE GAS NATURAL	0	-3.727	0	0	0	0	0	0	245	-3.482	0
USINAS DE GASEIFICAÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COQUERIAS	0	0	0	-7.676	0	0	0	0	0	-7.676	0
CICLO DO COMBUSTIVEL NUCLEAR	0	0	0	0	-971	0	0	0	0	-971	0
CENTRAIS ELET. SERV. PUBLICO	0	-13.704	-4.265	0	0	-29.126	-66	0	2.001	-49.162	-2.031
CENTRAIS ELET. AUTOPROD.	0	-2.706	-238	0	0	-1.812	-354	-5.959	3.881	-14.951	-399
CARVOARIAS	0	0	0	0	0	0	-7.429	0	0	-7.429	0
DESTILARIAS	0	0	0	0	0	0	0	-15.798	0	-15.798	0
OUTRAS TRANSFORMAÇÕES	-1.869	-1.600	0	0	0	0	0	0	412	-3.056	2.692
PERDAS DISTRIB. ARMAZENAGEM	0	-464	-7	-5	0	0	0	0	0	-477	0
CONSUMO FINAL	0	18.765	3.855	0	0	0	16.670	28.667	7.013	74.971	48.033
C.F. NÃO ENERGETICO	0	685	0	0	0	0	0	0	0	685	0
C.F. ENERGETICO	0	18.060	3.855	0	0	0	16.670	28.667	7.013	74.286	48.033
SETOR ENERGETICO	0	6.112	0	0	0	0	0	13.155	0	19.266	1.338
RESIDENCIAL	0	312	0	0	0	0	6.334	0	0	6.645	0
COMERCIAL	0	114	0	0	0	0	94	0	0	208	4
PUBLICO	0	43	0	0	0	0	0	0	0	43	3
AGROPECUARIO	0	0	0	0	0	0	2.814	0	0	2.814	6.327
TRANSP/TOTAL	0	1.553	0	0	0	0	0	0	0	1.553	39.244
RODOVIARIO	0	1.553	0	0	0	0	0	0	0	1.553	38.033
FERROVIARIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	971
AEREO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HIDROVIARIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240
INDUSTRIAL+TOTAL	0	9.947	3.855	0	0	0	7.428	15.512	7.013	43.756	1.117
CIMENTO	0	12	70	0	0	0	70	0	330	482	60

FERRO-GUSA E AÇO	0	1.223	2.124	0	0	0	0	0	0	3.348	29
FERRO LIGA	0	6	0	0	0	0	63	0	0	69	6
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0	657	417	0	0	0	0	0	0	1.075	695
NAO FERROSOS E OUTROS	0	593	689	0	0	0	0	0	0	1.282	10
QUIMICA	0	2.222	172	0	0	0	48	0	85	2.527	18
ALIMENTOS E BEBIDAS	0	834	65	0	0	0	2.171	15.485	10	18.565	239
TEXTIL	0	215	0	0	0	0	62	0	0	277	2
PAPEL E CELULOSE	0	805	86	0	0	0	1.833	27	6.529	9.279	173
CERAMICA	0	1.324	62	0	0	0	2.312	0	59	3.757	24
OUTRAS INDUSTRIAS	0	2.057	168	0	0	0	871	0	0	3.096	162
CONSUMO NAO IDENTIFICADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AJUSTES ESTADISTICOS	-447	-4	-3	0	0	0	0	0	0	-454	-25

Fonte: Ministério de Minas e Energia(BRASIL, 2016)

Segundo Reis et al.(2005 apud ALBIERO, 2011), metade do diesel consumido pela agricultura é utilizado nos tratores agrícolas. Devido a necessidade de operações que quase sempre são realizadas em meia ou plena carga, sempre com grande demanda de torque, dessa forma os motores ciclo compressão (diesel) são mais adequados ao uso na agricultura, vem daí o uso generalizado de motores diesel nos tratores. O restante seria utilizado em outros equipamentos, como colhedoras, geradores, armazenagem de grãos e pulverizadores autopropelidos.

O uso destes equipamentos acarreta custos com combustível bastante elevados, onde uma alternativa para a diminuição destes seria interessante, pois acarretaria em maior viabilidade da atividade agrícola.

Diante disto, atualmente, enfrenta-se um novo desafio em termos energéticos, de acordo com este panorama, tem-se procurado uma forma alternativa e competitiva de produzir energia que possa vir a substituir estes combustíveis, tais como o biogás, o gás natural, o óleo vegetal, ésteres de álcoois e também combustíveis hidrogenados. Neste contexto, o hidrogênio (H<sub>2</sub>) surge como uma alternativa.

## 2.2 HIDROGÊNIO

O hidrogênio é o mais simples e mais comum elemento do Universo, ele está presente em quase tudo. Ele compõe 75% da massa do Universo e 90% de suas moléculas, como a água (H<sub>2</sub>O) e as proteínas nos seres vivos. No planeta Terra, compõe aproximadamente 70% da superfície terrestre (ESTÊVÃO, 2008). É o gás mais leve e possuindo um poder calorífico de

120kJ/g, o qual é o maior de todos os combustíveis conhecidos sendo também, muito inflamável (DE SOUZA, L.W.P et al., 2010).

Atualmente, a maior parte do hidrogênio produzido no mundo é utilizada 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 resfriamento de geradores e motores (CONELHEIRO & LUCIANO, 2012). Deste modo, devido a sua versatilidade tanto em sua obtenção, quanto em sua utilização, pesquisas sobre hidrogênio estão concentradas na geração de energia viabilizando sua produção de forma limpa, como por via eletrólise da água

O hidrogênio molecular ( $H_2$ ) existe como dois átomos ligados através de uma ligação covalente. A temperatura e pressão normais,  $0^\circ C$  e 1atm, o hidrogênio apresenta-se como um gás extremamente inflamável, inodoro, insípido, incolor, insolúvel em água e muito mais leve que o ar. Para se apresentar no estado líquido, tem que estar armazenado numa temperatura de  $- 253^\circ C$ , em sistemas de armazenamento conhecidos como sistemas criogênicos. Acima desta temperatura, pode ser armazenado em forma de gás comprimido em cilindros de alta pressão (ESTÊVÃO, 2008).

O hidrogênio é extremamente inflamável no ar, entre 4% e 75% por volume de ar, requerendo uma pequena quantidade de energia para inflamá-lo é muito pequena. Este também é mais volátil que a gasolina, propano e metano, assim como tende a dispersar-se mais rapidamente. Todas estas características do hidrogênio colocam-no num patamar de utilização como combustível bastante privilegiado (CRACKNELL et. al., 2002).

Estes estudos são de grande interesse para substituição dos combustíveis utilizados atualmente, uma vez que possui grande energia em sua combustão e libera apenas vapor d'água como subproduto (MEDEIROS & BOTTON, 2013).

Conforme Al-rousan (2010), gás HHO é o nome dado ao gás hidrogênio e oxigênio produzido juntos em um Eletrolisador. Este gás pode ser utilizado em motores e geradores em sistema dual, juntamente com um combustível fóssil, para a redução do consumo deste último.

## 2.3 HIDROGÊNIO COMBUSTÍVEL – PRODUÇÃO VIA ELETRÓLISE DA ÁGUA

O estudo da eletrólise da água, segundo Zoulias & Varkaraki (2004) começou na primeira revolução industrial, no ano de 1800, quando Nicholson e Carlisle foram os primeiros a descobrir a possibilidade de decomposição eletrolítica da água.

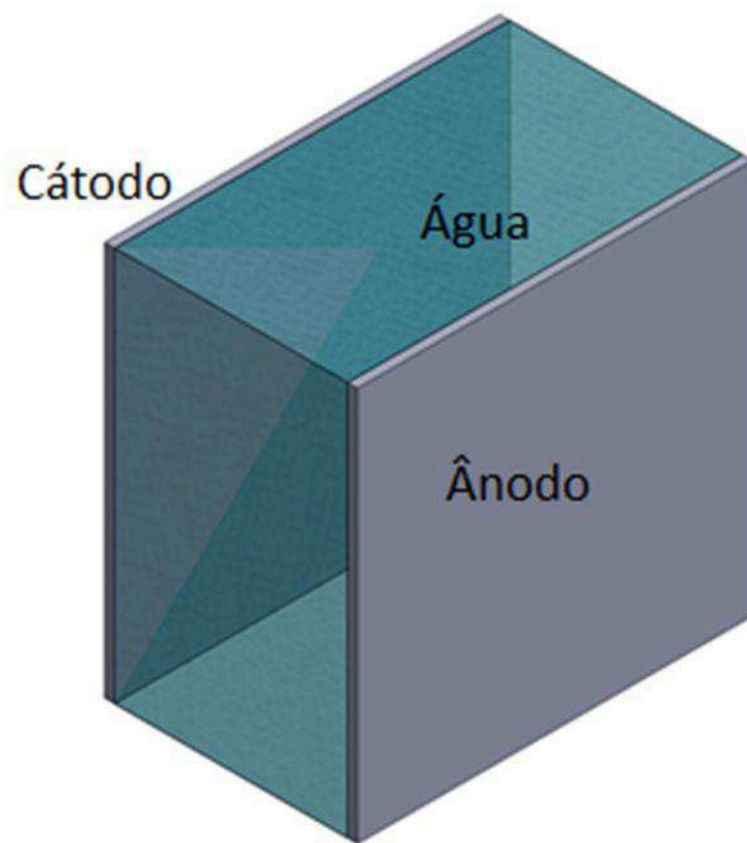
Segundo De Souza et al. (2010), os primeiros registros sobre a produção e utilização de hidrogênio em veículos dotados de motores de combustão interna são da década de 70, com a publicação do trabalho de Houseman e Cerini. Na década seguinte, outros trabalhos demonstraram as vantagens da utilização de hidrogênio como combustível em um motor ciclo Diesel, onde o trabalho desenvolvido por Rao et al. (1983), constatou aumento da eficiência térmica e redução de emissão de hidrocarbonetos não-queimados ao utilizar hidrogênio de forma a modificar a mistura ar-combustível original em um motor Diesel.

A obtenção do hidrogênio é bastante flexível, sendo esta uma de suas características mais interessantes. Pode ser obtido a partir de energia elétrica (via eletrólise da água), pelas fontes: hidroelétricas, geotérmicas; eólica e solar fotovoltaica, todas geológicas e também da eletricidade de usinas nucleares. Pode ainda ser obtido da energia da biomassa (via reforma catalítica ou gaseificação, seguido de purificação), como: etanol, lixo e rejeitos da agricultura (SALIBA-SILVA E LINARDI, 2009).

O termo eletrólise vem do grego *electro + lysis* que significa decomposição pela electricidade. Consiste na separação de H<sub>2</sub>O em oxigênio e hidrogênio pela indução de corrente elétrica que passa pela água. É um processo electroquímico em que os íons de um electrólito de carga eléctrica positiva(cátodo) e negativa(ânodo) são transportados pela corrente eléctrica e transformados em partículas não carregadas eletricamente (ESTÊVÃO, 2008).

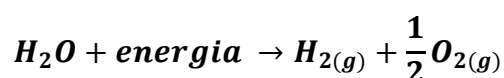


Figura 1 – Representação da eletrólise da água



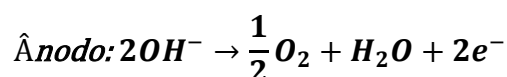
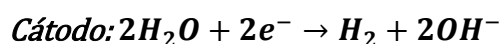
Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Neto & Moreira (2007) a reação total desse processo é:



A eletrólise é feita por uma célula eletrolítica, chamada de gerador ou reator de hidrogênio, a qual utiliza a energia provinda do sistema de conversão de energia cinética em elétrica do motor (alternador), a qual é armazenada na bateria e possibilita a partida elétrica e o funcionamento de componentes eletrônicos nos veículos. Sendo composta por placas de aço inoxidável, onde algumas são ligadas no polo positivo e outras no negativo da bateria.

A energia absorvida no processo é convertida em calor nos eletrodos e energia química na forma de hidrogênio gasoso. As reações nos eletrodos são descritos como:



O gás hidróxi ou gás HHO, nome dado ao gás hidrogênio e oxigênio produzido juntos em um eletrolizador, é formado por  $H_2$  e  $O_2$  separados por moléculas distintas, em seu estado mono atômico (um único átomo por molécula) gerado pelo processo de eletrólise da água, normalmente com eletrólitos como NaOH, KOH ou aditivos como o NaCl. (YILMAZ; ULUDAMAR; AYDIN, 2010).

Baltacioglu et al, (2015) em um estudo de comparação das características de desempenho e emissão de um motor diesel de injeção piloto com adições de combustíveis alternativos como hidrogênio puro, HHO e biodiesel, inferiram que as alterações nos resultados do desempenho do motor foram mínimas, no entanto, as melhorias nas emissões de gases de escape foram muito promissoras.

Houseman & Cerini (1974) em estudo de um gerador de hidrogênio para uso com um motor de combustão interna de gasolina enriquecido em hidrogênio, constataram que este não mostrou sinais de degradação do desempenho.

Atualmente existe uma linha de pensamento que busca utilizar a eletrólise de água para, de uma forma geral, diminuir o consumo de combustíveis fósseis e impactos ambientais. O maior obstáculo do processo está no fato da água ser um eletrólito muito fraco, não conseguindo conduzir muita corrente elétrica, então para aumentar seu poder de decomposição por meio da eletrólise são adicionados solutos iônicos podendo ser um sal, um ácido ou mesmo uma base.

A água pura (destilada) por si só apresenta uma baixa condutividade elétrica, dessa forma a eletrólise desta é muito lenta e não gera uma produção de HHO considerável, necessitando, assim, de uma base forte (NAOH) para que sejam fornecidos íons  $H^+$  à solução, os quais melhoram a condutividade elétrica da água (RUSSELL, 1929).

## 2.4 ELETRÓLITOS

A eletrólise da água ocorre quando passamos uma corrente contínua por ela, desde que a tornemos condutora, pois a água pura não conduz corrente

elétrica. Dessa forma, a adição de um eletrólito torna o meio condutor e possibilita a realização do processo.

A carga elétrica quebra a ligação química entre os átomos de hidrogênio e o de oxigênio e separa os componentes atômicos, criando partículas carregadas (íons). O hidrogênio se concentra no cátodo e o ânodo atrai o oxigênio. Uma voltagem de 1,24V é necessária para separar os átomos de oxigênio e de hidrogênio em água pura a uma temperatura de 25°C e uma pressão de 1,03kg/cm<sup>2</sup>. Esta tensão varia conforme a pressão ou a temperatura são alteradas (Longo et. al. 2008).

O eletrólito convencional utilizado na produção de hidrogênio é uma solução de hidróxido de potássio num sistema que opera na temperatura entre 28 e 77°C, porém NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> à temperatura ambiente também é utilizado. Além dos eletrólitos alcalinos, existem outros meios que já foram testados: o sólido, o de membrana polimérica e o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1mol L<sup>-1</sup> (BOTTON, 2007; SALIBA-SILVA E LINARDI, 2009).

Silveira (2012) constatou que o eletrólito mais adequado à produção de gás HHO é o hidróxido de sódio (NaOH) em uma concentração de 40 gramas diluídos em 8,125 litros de água destilada. Sua eficiência é maior comparada com KOH, pois o eletrólito de KOH necessita de maior consumo de energia por m<sup>3</sup>. Segundo este mesmo autor, o eletrólito de hidróxido de potássio (KOH) necessita de maior concentração (100 gramas) e, conseqüentemente, de maior energia para a mesma produção de gás HHO, tornando a produção menos eficiente.

Outras substâncias que conduzem eletricidade, utilizados para eletrólise da água, são os chamados líquidos iônicos. Botton (2007) demonstrou a eficiência destes líquidos e ressaltou ainda como possuindo maior eficiência, frente a teste com diferentes eletrocatalisadores, o tetrafluoroborato de 1-butil-3- metilimidazólio.

Segundo Botton (2007) o processo para a produção de hidrogênio via eletrólise da água é um processo simples, que não precisa passar por muitas etapas, no entanto possui a desvantagem de ser um sistema de alto custo. Neste contexto, ainda segundo Botton (2008), novos materiais e condições de operações de eletrólise da água estão sendo pesquisados para que sua utilização seja economicamente viável.

## 2.5 CUSTO DA TECNOLOGIA

Segundo Conelheiro & Luciano (2012), a produção de hidrogênio se mostrou, em sua grande maioria, proveniente da reforma do gás natural, devido seu baixo custo, porém a desvantagem deste processo é a liberação de dióxido de carbono à atmosfera, contribuindo com a poluição do planeta.

Já a produção de hidrogênio por eletrólise da água é um processo limpo e de certa forma simples, porém emprega o uso de energia no processo o que encarece e inviabiliza a produção em larga escala por este método. Diversos estudos procuram melhorar a produção por eletrólise da água onde destacasse estudos com líquidos iônicos como eletrólito (meio condutor) e, mais recentemente, a utilização da energia vertida não turbinada de usinas hidrelétricas como fonte de energia para o sistema (CONELHEIRO & LUCIANO, 2012).

Um motor que funcione apenas com hidrogênio produzido pela eletrólise, que por sua vez seria alimentada pela energia produzida pelo próprio motor, é algo muito complexo e caro, porém, o que pode ser feito facilmente e com baixo custo é um dispositivo que irá aumentar a eficiência do motor denominado célula eletrolítica (KELLY, 2016).

A mistura de combustível com HHO pode potencializar o rendimento, além de outras características vantajosas, como a maior homogeneidade na queima, maior eficiência e propagação mais rápida da chama, resultando em um aumento global da eficiência termodinâmica do motor (DE SOUZA et al., 2010).

Estêvão (2008) em seus estudos sobre o uso de hidrogênio chegou à conclusão que o hidrogênio é um combustível, e que apresenta uma queima mais eficiente que os outros combustíveis fósseis que regularmente se utiliza, obtendo melhores potências energéticas. 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.

Tambor (2016), estudando a aplicação do hidrogênio como combustível auxiliar em motores automotivos, afirma que o hidrogênio apesar de não ter mostrado uma melhora significativa de potência do motor, se mostrou muito eficiente em economia de combustível com melhora de aproximadamente 53%,

outro ponto positivo do hidrogênio se dá na melhora de rendimento no controle de misturas com valor real de 23%. Conclui também que células geradoras de hidrogênio são uma ótima alternativa para economia de combustível sendo constatado nenhum tipo de avaria e/ou prejuízo ao veículo.

Crabtree & Dresselhaus (2008), observaram a elevada eficiência de conversão das células a combustível (60%), torna-os atrativos em comparação com alternativas de geração elétrica baseados em combustíveis fósseis (34%), em média. Acrescentam ainda que o hidrogênio não só é livre de poluentes e gases de efeito estufa, mas também utiliza consideravelmente menos energia primária para um determinado uso de energia.

Estes mesmos autores afirmam que o hidrogênio como combustível limpo aliado à eficiência das células a combustível oferecem uma alternativa atraente aos combustíveis fósseis. Afirmam, porém, que a implantação das células a combustível a hidrogênio em uma escala significativa requer grandes avanços na produção, armazenamento e utilização de hidrogênio (CRABTREE & DRESSELHAUS, 2008).

FLYNN et al, 2013, menciona que as tecnologias de hidrogênio são, atualmente, “emergentes” e, em grande parte nas fases experimentais e de projetos de demonstração, buscam um nicho para competir com tecnologias existentes em aplicações estacionárias e móveis. No mesmo sentido, Knob (2013) estudando a geração de hidrogênio por eletrólise da água utilizando energia solar fotovoltaica, observa que a eletrólise da água é um componente-chave para a produção de hidrogênio sustentável e eficiente. Reduzir o consumo de energia, custo e manutenção e aumentar a confiabilidade, durabilidade e segurança são os desafios para a utilização generalizada da eletrólise da água.

Ainda Knob (2013), inferiu que a eletrólise é menos eficiente do que um caminho químico direto, mas oferece praticamente nenhuma poluição ou subprodutos tóxicos se a corrente elétrica é gerada utilizando energias renováveis.

O hidrogênio pode também funcionar como um meio de armazenamento de energia para a energia renovável através da eletrólise usando a eletricidade excedente, quando a geração excede a demanda. Pode ser utilizado, posteriormente, em aplicações de alto valor, como sistemas de co-geração,

veículos de passageiros e ônibus, ou pode ser convertido novamente em eletricidade, utilizando células de combustível ou turbinas, quando a demanda excede a geração (pico de demanda) (DOE , 2011).

Silveira (2012) avaliando a injeção de gás HHO em um gerador a gasolina para fins de energização rural, concluiu que o reator eletrolítico construído foi adequado ao experimento produzindo o gás HHO suficiente, com o eletrólito de hidróxido de sódio (NaOH) dissolvido em água destilada. Este mesmo autor, conclui ainda, que o motor reduziu o consumo específico quando introduzido, através do injetor de gás, melhorando a eficiência da combustão em 16,6%, além da redução da concentração de gases expelidos pela válvula de escape com a injeção de gás HHO.

Dresselhaus (2004), afirma que muitas das barreiras técnicas para uma economia do hidrogênio comercialmente viável abrangem as áreas funcionais de produção, armazenamento e utilização. Superar esses obstáculos requer uma abordagem integrada, em que os avanços científicos em uma área estimulem a inovação em outras. Tal abordagem integrada de investigação destaca direções de investigação transversais e promove esforços interdisciplinares amplos, bem como uma forte coordenação entre as ciências básicas e aplicadas e a cooperação entre as instituições competentes.

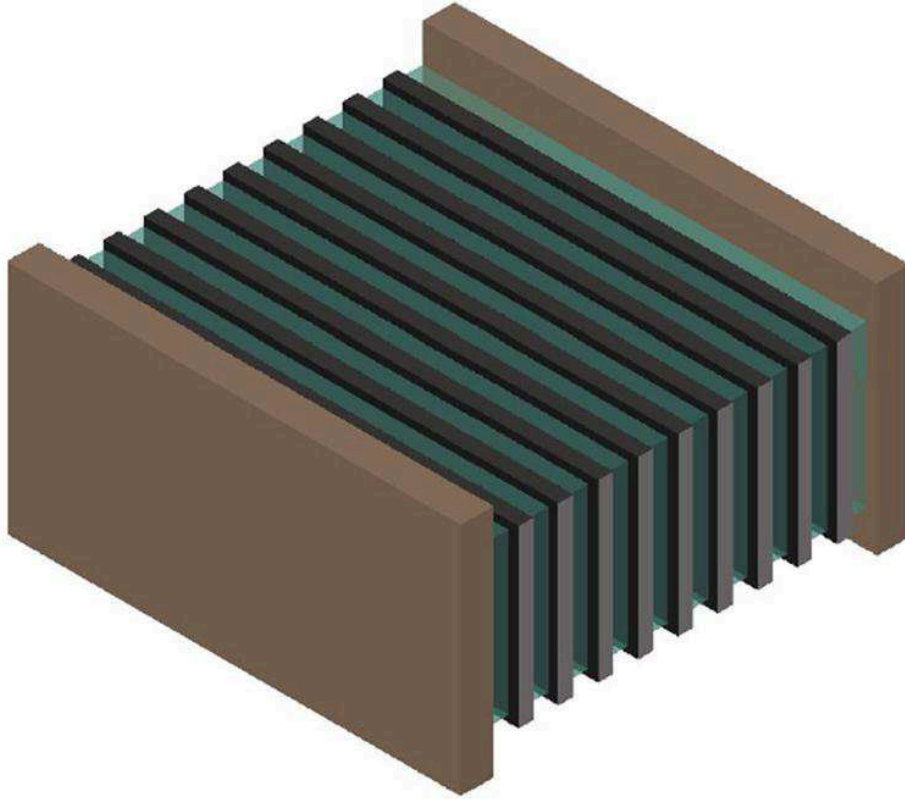
Ainda segundo Dresselhaus (2004), a economia do hidrogênio oferece uma visão convincente de um futuro de energia que é ao mesmo tempo abundante, limpa, flexível e segura. Esta visão de um fluxo de energia, originário do sol, que flui através de hidrogênio como um vetor para realizar o trabalho elétrico, produzindo água como único subproduto, efetivamente aborda os principais desafios energéticos do século 21.

### **2.6.3 Célula eletrolítica**

A eletrólise pode ser feita por uma célula eletrolítica (comumente chamada de gerador ou reator de hidrogênio), a qual utiliza a energia provinda do sistema de conversão de energia cinética em elétrica do motor (alternador), a qual é armazenada na bateria e possibilita a partida elétrica e o funcionamento de componentes eletrônicos nos veículos. Sendo composta por placas de aço inoxidável, onde algumas são ligadas no polo positivo e outras no negativo da bateria. A mistura de água e um reagente fica entre estas

placas, gerando uma corrente elétrica que quebra a molécula de água (H<sub>2</sub>O) produzindo o HHO (Figura 2).

Figura 2 – Representação da montagem de uma célula eletrolítica



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o desenvolvimento dessa célula adaptada a um motor ciclo diesel será possível que gás HHO seja adicionado a mistura de combustível-ar do motor, uma vez que este é muito inflamável e ao entrar em combustão gera apenas água como resíduo, gerando conseqüentemente uma menor necessidade de combustível, o que acarreta em menor emissão de poluentes.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Nessa seção, serão apresentados os experimentos que foram realizados a fim de comparar os dados de consumo de um do motor diesel associado a diferentes geradores de hidrogênio alimentados com os tratamentos. Para o desenvolvimento desses experimentos, foram necessários alguns equipamentos descritos a seguir.

#### **3.1 MOTOR UTILIZADO**

O motor utilizado é um monocilíndrico, estacionário, refrigerado a ar com 10HP de partida elétrica, com potência máxima de 6,0 KVA e potência nominal de 5,5 KVA, equipado com um tanque principal de 7 litros, a rotação de trabalho é de 3500 rpm.

#### **3.2 GERADOR DE HIDROGÊNIO**

Será utilizado o nome de Gerador de Hidrogênio para o equipamento desenvolvido com base na literatura que fará a eletrólise da água, produzindo o gás composto por hidrogênio e oxigênio, tal gás é referido neste experimento como Gás HHO.

Um Gerador de Hidrogênio, é um dispositivo eletro químico que, através da eletrólise segura de uma solução líquida de água, associado a uma base como hidróxido de sódio ou bicarbonato de sódio, transforma os elementos presentes nessa solução, hidrogênio e oxigênio em gás.

O gás HHO é direcionado através de mangueiras para a entrada de ar do motor diesel onde será queimado na câmara de combustão como um gás auxiliar de queima, desta maneira substituindo em partes o combustível do motor.

#### **3.3 COMPONENTES DO GERADOR DE HIDROGÊNIO**

O Gerador de Hidrogênio é composto por célula eletrolítica, mangueiras, borbulhador, e sistema de conexões elétricas, todos descritos a seguir.

##### **3.3.1 Célula eletrolítica**

É o componente principal do gerador, nesta será realizada a eletrólise propriamente dita, sendo composta por placas de aço inoxidável de 150 mm por 200 mm com furos nas extremidades mais estreitas (Figura 3), separadas



por isolantes de borracha com espessura de 3 mm (Figura 4) para que não haja curto circuito.

Figura 3 – Placa de aço inoxidável



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4 – Isolante de borracha 3mm

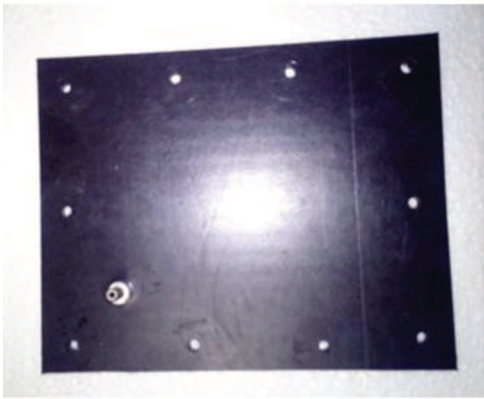


Fonte: Elaborado pelo autor

Esta estrutura é prensada por duas placas de polietileno de alta resistência com espessura de 10 mm onde em uma delas são feitos furos nas extremidades mais estreitas para a entrada de solução e saída do gás produzido (Figura 5), sendo tal conjunto fixado por 10 parafusos e porcas que tem a finalidade de promover a sustentação e a completa vedação do sistema.

Ainda nesta placa de polietileno que recebe a entrada de solução e a saída de gás são afixados conexões metálicas (Figura 6) rosqueadas nas perfurações a fim de permitir a conexão com mangueiras.

Figura 5 – Placa de polietileno



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 – Conexão metálica



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.2 Borbulhador

O borbulhador resume-se a um recipiente de polietileno de aproximadamente 600 cm<sup>3</sup>, o qual receberá três conexões metálicas, sendo uma para trânsito da solução entre este e a célula eletrolítica, outra para o recebimento dos gases provindos da célula e uma terceira para o direcionamento desses gases a algum motor de combustão. Conforme Figura 7.

Figura 7 - Borbulhador



Fonte: Elaborado pelo autor

### **3.3.3 Mangueiras**

As mangueiras tem por finalidade a condução da solução e dos gases entre o borbulhador e a célula eletrolítica, essas são de material flexível transparente, com diâmetro interno de 6 mm.

### **3.3.4 Conexões elétricas**

As conexões elétricas são responsáveis por alimentar a célula eletrolítica com energia provinda da bateria do motor. Essas conexões devem ter a capacidade de 10 amperes de corrente, uma vez que a fiação utilizada pelo motor a diesel corresponde a essa necessidade, sendo que se esta for maior acarretaria em risco de superaquecimento e derretimento dos fios, causando danos aos componentes elétricos.

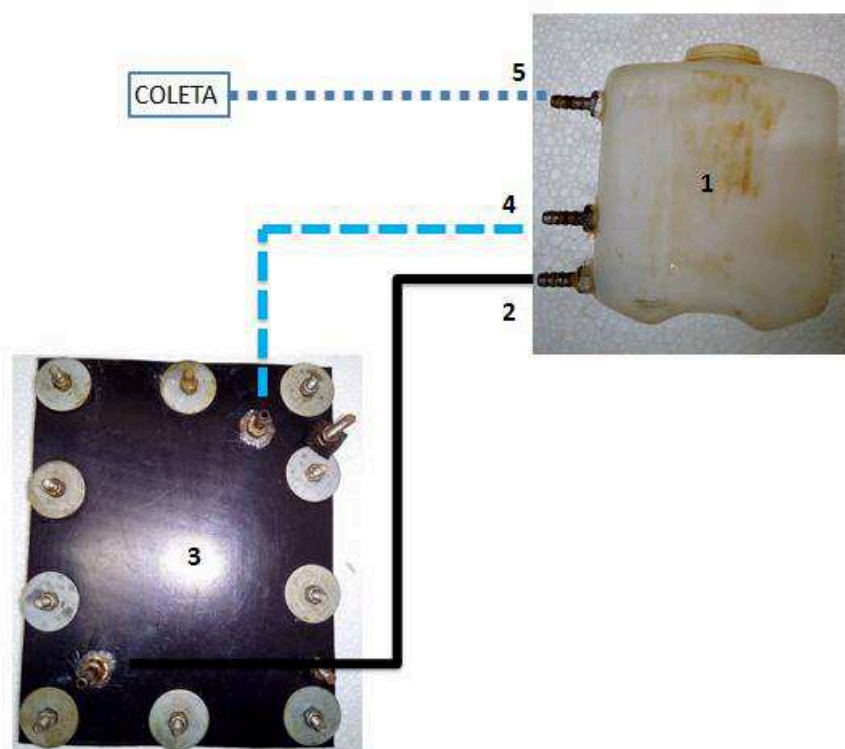
## **3.4 MONTAGEM DO GERADOR DE HIDROGÊNIO**

A montagem do gerador segue apenas uma regra básica lógica, na qual o borbulhador deve estar em um nível pouco mais alto que a parte de cima da célula eletrolítica, permitindo assim que a solução presente no borbulhador atinja a célula por meio da gravidade e que o gás produzido seja conduzido ao borbulhador por diferença de peso e pressão.

## **3.5 FUNCIONAMENTO DO GERADOR DE HIDROGÊNIO DO EXPERIMENTO**

Conforme a Figura 8, a solução presente no borbulhador(1) acessa a célula eletrolítica(3) através de uma mangueira que parte da conexão inferior(2), após a solução ser eletrolisada os gases provenientes desse processo retornam ao borbulhador através de uma mangueira acoplada na conexão do meio(4), então o gás HHO é direcionado para fora do Gerador de Hidrogênio pela conexão superior(5), onde é então conduzido para a entrada de ar do motor.

Figura 8 – Esquema de funcionamento do Gerador de Hidrogênio



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.6 TRATAMENTOS

Os tratamentos utilizados são Diesel + Água pura e Hidróxido de sódio(T1), Diesel + Água pura e Bicarbonato de sódio(T2), Diesel + Água pura(T3) e somente Diesel como testemunha(T4)

#### 3.6.1 Determinação dos tratamentos

Para a determinação da relação água pura + reagente dos tratamentos, foi empregado um parâmetro de máxima corrente elétrica, uma vez que como já foi descrito anteriormente, a fiação empregada na indústria de motores e veículos trabalha principalmente com fios de capacidade de 10 amperes de corrente, uma vez que quanto mais reagente melhor será a condutividade elétrica e maior será a corrente elétrica utilizada pelo sistema.

Outro fator a ser levado em consideração é a capacidade de aumentar a condutividade da água dos dois reagentes, onde o hidróxido de sódio(por ser

uma base muito forte) é muito superior, assim necessitando de uma dose menor que o bicarbonato de sódio.

Dessa forma, a obtenção das dosagens dos reagentes deu-se da seguinte forma:

Foi acoplado ao sistema um amperímetro analógico, o qual mede a corrente elétrica que passa pelos fios. Feito isto adicionou-se a água pura com diferentes dosagens de reagente ao gerador, iniciando com uma dosagem pequena e verificando o consumo de corrente, quando a corrente for menor que 10 amperes foi feita novamente uma solução mais forte (com mais reagente) e assim sucessivamente até chegar a uma dosagem onde o consumo do sistema seja de 10 amperes.

Esse processo realizou-se para ambos os reagentes a fim de determinar a dosagem do tratamento que contemple a utilização de corrente elétrica de 10 amperes.

Com esses dados em mãos foram realizados os testes de consumo de diesel pelo motor associado ao gerador de hidrogênio. Com as respectivas doses de reagentes obtidas para os T1 e T2, sendo que o T3 não apresenta quaisquer adições de reagente e o T4 apresenta somente a utilização de diesel, caracterizando a testemunha.

### **3.6.2 Avaliação dos tratamentos**

Para a avaliação dos tratamentos utilizou-se o Delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e cinco repetições, sendo escolhido este delineamento em função da não variação das unidades experimentais.

### **3.6.3 Testes com os tratamentos**

O experimento conduziu-se da seguinte forma:

Acionou-se o motor acoplado com o Gerador de Hidrogênio o qual funcionou por 20 minutos para fins de estabilização (TORRES et al, 2006), então realizou-se uma medição volumétrica NBR 7024 (ABNT, 2010), que indica a diferença entre o valor inicial do tanque e seu valor final, para que esse

procedimento tenha maior eficiência usou-se dois tanques, o primeiro somente usado para funcionamento do motor e sua respectiva estabilização, após o tempo de 20 minutos uma válvula redimensionadora é ativada conduzindo o consumo para o tanque amostral, o mesmo foi abastecido completamente e forneceu combustível para o motor pelo período de 10 minutos, onde ao final desse tempo foi verificada quanto de combustível, uma vez que o tanque amostral é graduado.

O cálculo do consumo por hora realizou-se da seguinte forma:

$$Dc = ((Tai - Taf) \times 3600)/600$$

Onde:

Dc= diesel consumido, cm<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

Tai= medida tanque amostral inicial, cm<sup>3</sup>

Taf= medida tanque amostral final, cm<sup>3</sup>

Feito isto, a válvula redimensionadora foi colocada na posição de consumo do tanque principal, para que o tanque amostral(TA) seja reabastecido. Após o reabastecimento deste, novamente a válvula é colocada na posição de consumo do TA para que possa ser realizada a segunda repetição e assim sucessivamente para obter-se as cinco repetições para cada um dos quatro tratamentos, totalizando vinte unidades experimentais.

### 3.7 AVALIAÇÃO DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade, onde foi considerado como melhor o tratamento que obtiver a menos consumo de diesel por hora , uma vez que, segundo testes realizados por autores como SANDALCI & KARAGÖZ (2014) e MADHUJIT et al (2015), quanto maior for a injeção de hidrogênio em um motor maior pode ser a economia alcançada por este.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a inicialização e estabilização do motor, as avaliações que se seguiram apresentaram os resultados, como pode ser observado na Tabela 1, o menor consumo de combustível foi no Tratamento 2, o qual conta com água + hidróxido de sódio, sendo significativamente menor que o consumo da testemunha (motor sem adição de gás HHO).

O Tratamento 1 apresentou pouca diferença para com a testemunha se comparado ao T2, sendo que o Tratamento 3, o qual utiliza apenas água pura para a produção de gás HHO não apresentou diferença significativa em relação testemunha, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Análise de variância – ANOVA

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Repetição 5	Média
Trat. 01	195	205	205	210	200	203
Trat. 02	145	140	140	150	145	144
Trat. 03	220	225	225	220	220	222
Trat. 04	220	220	225	230	230	225
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamentos	3	21225	7075	343,030303	3,238607858	5,29056186
Resíduo	16	330	20,625			
Total	19	21555				
C.V.	2,29%					

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como nos testes realizados por SANDALCI & KARAGÖZ (2014) e MADHUJIT et al (2015), o experimento provou que quanto maior for a injeção de hidrogênio em um motor, maior é a economia de combustível que este alcança, (Tabela 3).

Tabela 3 - Teste de Tukey

Tratamento	Média (litros h <sup>-1</sup> )	Tukey
Trat. 02 "SODA "	864	a*
Trat. 01 "BICARBONATO "	1218	b
Trat. 03 "AGUA "	1332	c
Trat. 04 "TESTEMUNHA "	1350	c

\*Médias dos tratamentos não seguidas por mesmas letras diferem entre si para teste de Tukey em nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O delineamento utilizado foi o correto trazendo como melhor tratamento a mistura de hidróxido de sódio com água (tratamento 2) o qual teve uma redução no consumo em relação a testemunha (tratamento 4) de 36%, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

O tratamento de bicarbonato de sódio com água (tratamento 1) teve uma redução no consumo de aproximadamente de 9,8% em relação a testemunha, diferindo estatisticamente dos demais .

O pior tratamento foi o tratamento que utilizou somente água (tratamento 3) que teve uma redução de apenas 1,3% em relação a testemunha, não diferindo estatisticamente da testemunha (tratamento 4) .

Comprovando assim que a utilização de um sistema dual traz redução no consumo de óleo diesel, e trazendo uma opção de energia limpa associada a sistemas já estabelecidos no mercado, necessitando apenas acoplar o sistema ao motor a diesel. Mostrando que existem opções para reduzirmos o consumo sem perda de eficiência na produção agrícola ou transporte, sendo o mesmo de fácil manutenção.



## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Analisando os dados e submetendo-os ao teste estatístico observa-se que a utilização de hidrogênio, na forma de gás HHO, em motores de combustão interna ciclo Diesel, é eficiente e pode gerar uma economia significativa de combustível, uma vez que a solução utilizada seja água + hidróxido de sódio.

A utilização de solução com bicarbonato de sódio também gera economia, porém, é muito inferior à gerada pela solução com hidróxido.

O uso apenas de água pura para geração do gás HHO a ser utilizado no motor não é eficiente e não gera economia.

## REFERÊNCIAS

AL-ROUSAN, Ammar A.. Reduction Of Fuel Consumption In Gasoline Engines By Introducing Hho Gas Into Intake Manifold. **International Journal Of Hydrogen Energy**, Mutah, p. 12930 12935. 30 ago. 2010.

BALTACIOGLU, M.K., Arat, M.T., Aydin, M.O.K. Experimental comparison of pure hydrogen and HHO (hydroxy) enriched biodiesel (B10) fuel in a commercial diesel engine, *International Journal of Hydrogen Energy* (2016).

BIODIESELBR. ABC do biodiesel. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com>. 2006. Acesso em 20 de março de 2017.

BOTTON, J. P. **Líquidos iônicos como Eletrólitos para Reações Eletroquímicas**. 2007, 174 pag. TESE (Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Abril de 2007.

BRASIL. Resenha Energética. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Resenha Energética Brasileira, Exercício de 2015, ed. 2016. p. 29.

CANTERI, M. G., ALTHAUS, R. A., VIRGENS FILHO, J. S., GIGLIOTI, E. A.,GODOY, C. V. SASM - Agri : Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott - Knott, Tukey e Duncan. *Revista Brasileira de Agrocomputação*, V.1, N.2, p.18-24. 2001.

CONELHEIRO, L. T. P., LUCIANO, A. Desenvolvimento de um sistema gerador de hidrogênio gasoso para utilização como combustível alternativo em veículos automotores. **Anais Eletrônico...** VI Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica. Centro Universitário de Maringá. 2012.

CRABTREE, G. e DRESSELHAUS, M. **The hydrogen fuel alternative**, *Mrs Bulletin*, vol. 33, no. Abril, pp. 421–429, 2008

SOUZA, L. W. P., ARAÚJO, R. O., CAMPOS, H. R. A., RODRIGUES, M.S., VARELLA, R. A., CAIXETA, L. R. GONÇALVES, S. C. S., SILVA, R. M. VERAS, C. A. G. Estudo de motores à combustão interna alimentados com combustível aditivado com hidrogênio. 2010.

DOE, **The Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program Plan – An Integrated Strategic Plan for the Research, Development, and Demonstration of Hydrogen and Fuel Cell Technologies**, 2011.

DRESSELHAUS, M, **Basic Research Needs for the Hydrogen Economy**, *Fuel Cells*, vol. 21, no. 50, 2004.

EPE - Brasil. Empresa de Pesquisa Energética- **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

ESTÊVÃO, T. E. R. **O Hidrogênio como combustível**. (Dissertação). Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, 2008.

FLYNN, R.; RICCI, M. e BELLABY, P. **Deliberation over new hydrogen energy technologies** - evidence from two Citizens' Panels in the UK, *Journal of Risk Research*, vol. 16, no. 3–4, pp. 379–391, Abril, 2013.

HOUSEMAN, J., CERINI, D., “On board hydrogen generator for a partial hydrogen injection internal combustion engine”. SAE (**Society of Automotive Engineering**), 1974.

KELLY, Patrick J. “Practical Guide to Free-Energy Devices” Version 29.4, cap10 **Automotive systems** , 2016.

KNOB, DANIEL. Geração de hidrogênio por eletrólise da água utilizando energia solar fotovoltaica. (Dissertação). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2013.

Longo, V. A. M. Produção Biológica de Hidrogênio. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2008.

MADHUIT, Deb., SASTRY, G.R.K. , BOSE P.K., BANERJEE R. An experimental study on combustion, performance and emission analysis of a single cylinder, 4-stroke di-diesel engine using hydrogen in dual fuel mode of operation. 2015.

MEDEIROS, W.B., BOTTON. J.P. Química Verde: produção de hidrogênio via eletrólise da água como uma alternativa para a geração de energia limpa. Métodos e Eletrólitos Utilizados na Produção de Hidrogênio. **Anais... II Encontro de Iniciação Científica da UNILA. Parque Tecnológico Itaipu - Foz do Iguaçu, 2013.**

NETO, R. L., MOREIRA, J. R. S. Geração e combustão do hidrogênio obtido através do processo de eletrólise da água. São Paulo. **EPUSP**, 2007. 50p 007.

RAO, B. H., SHRIVASTAVA, K. N., BHAKTA, H. N., 1983, "Hydrogen for dual fuel engine operation". **International Journal of Hydrogen Energy**, vol. 8, p. 381–384.

R.F.CRACKNELL, J.L. ALCOCK, J.J. ROWSON, L.C.SHIRVILL AND A. ÜNGÜT; Safety Considerations in Retailing Hydrogen; **Shell Research Limited** 2002.

RUSSELL J.B. **Química Geral**. 2ª edição. São Paulo – SP: Pearson Education Brasil, março de 2008. 662 p.

SALIBA-SILVA, M. A; Linardi, M. **Hidrogênio Nuclear – Possibilidades para o Brasil. Centro de células a combustível e hidrogênio, instituto de**

**Pesquisa e Energéticas e Nucleares** (IPEN-CNEN/SP) São Paulo, 2009.

SILVEIRA, VANDER FÁBIO. **Avaliação da injeção de gás HHO em um gerador a gasolina para fins de energização rural**. Vander Fábio Silveira. (Dissertação). Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012. 66 p.

TAMBOR, J. H. M. Redução de consumo de combustível convencional pela adição de gás hidrogênio. **Revista Caleidoscópio**. Anais do seminário ENIAC. 2016.

TILLMANN, C. A da C. **Motores de combustão interna e seus sistemas** – Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013. 165 p.

TORRES, E. A., SANTOS, D. C., SOUZA, D. V. D., PEIXOTO, L. B., FRANÇA, T. Ensaio de motores estacionários do ciclo diesel utilizando óleo diesel e biodiesel(B100).2006.

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**: elsevier, Adana, p. 11366- 11372. 11 ago. 2010.

ZOULIAS, E. e VARKARAKI, E. **A review on water electrolysis**, *TCJST*, 2004.