

ESTUDO DA VIABILIDADE DA ADIÇÃO DE GÁS HIDROGÊNIO GERADO POR ELETRÓLISE DA ÁGUA EM UM MOTOR DOIS TEMPOS À GASOLINA

STUDY ON THE FEASIBILITY OF THE ADDITION OF HYDROGEN GAS GENERATED BY ELECTROLYSIS OF WATER IN A TWO-STROKE ENGINE

Flávio Garcia da Costa¹, Anselmo Rodrigues², José Humberto Machado Tambor³

Resumo: As empresas visando menor impacto ao meio ambiente, buscam incessantemente por alternativas para utilizar como fonte de energia sustentável. Neste contexto, abordamos a possibilidade da utilização do hidrogênio como um combustível auxiliar da gasolina. Neste trabalho utilizamos como instrumento um motor dois tempos (2T) de combustão interna, para análise entre a gasolina, e misturada com hidrogênio, considerando os seguintes aspectos: consumo, potência e eficiência, coletando tabelas e figuras. Para tanto, conceitos teóricos relevantes referentes ao assunto foram utilizados, assim como, análise de testes em laboratórios. Foi construída uma célula eletrolítica para a geração do hidrogênio, para assim aplicar as mesmas condições de funcionamento para testes no motor, comparando a gasolina, e a mistura deles. A quantificação e qualificação dos resultados encontrados foram analisados para um determinado número de testes estabelecidos para cada uma das condições de funcionamento, apontando a viabilidade da utilização do hidrogênio.

Palavras-chave: Motor de combustão interna, gasolina, hidrogênio, célula eletrolítica.

Abstract: *The companies are aiming the lower environment impact, seek incessantly for alternatives to use as a sustainable energy source. In this context, we approach the possibility of using hydrogen as an auxiliary fuel of gasoline. In this work we use a two-stroke engine (2T) as an instrument of internal combustion, for analysis between gasoline alone, and mixed with hydrogen, considering the following aspects: consumption, power and efficiency,*

organized in tables and graphs. Therefore, relevant theoretical concepts related to the subject were used, as well as analysis of tests in laboratories. An electrolyte cell was built for hydrogen generation, in order to apply the same conditions of operation for engine tests, comparing gasoline, and their mixture. The quantification and qualification of the results found were analyzed for a determined number of tests established for each of the conditions of functioning, pointing out the feasibility of using hydrogen.

Keywords: *Internal combustion engine, gasoline. Hydrogen, electrolyte cell.*

I. INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa demonstrar a viabilidade de uma energia limpa por meio de uma análise automatizada na geração e uso do hidrogênio combustível. Além de otimizar o consumo do combustível tradicional na mistura com o hidrogênio, é uma forma sustentável de geração de energia.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

Tendo em vista as grandes adversidades ambientais sofridas pelo nosso planeta faz-se necessário a busca por medidas corretivas imediatas, uma vez que o setor de transportes tem contribuído grandemente para a poluição atmosférica através da queima de seus derivados, tais como gasolina e diesel.

Visando a redução de emissão de gases poluentes e uma possibilidade de substituição à

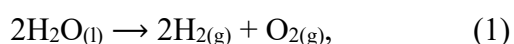
¹ Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Eniac, email: flávio_nbpgarcia@hotmail.com

² Professor Doutor nos cursos de Engenharia, Centro Universitário Campos de Andrade, email: anselmorod@gmail.com

³ Doutor em Ciências, Professor e Pesquisador do NUPE no Centro Universitário ENIAC, professor de pós-graduação em biotecnologia na Faculdades Oswaldo Cruz. e-mail: jose.humberto@eniac.edu.br

utilização de combustíveis fósseis, devido ao seu alto custo e efeito ao meio ambiente, temos o hidrogênio como uma opção muito viável, onde pode ser facilmente obtido através da própria água com adição de ácidos ou bases, um exemplo de base que pode ser utilizado para uma bom desempenho é o hidróxido de sódio (NaOH). Para tal procedimento é utilizado uma célula eletrolítica que consiste em um equipamento que efetua a quebra das ligações químicas da molécula da água (H₂O) separando, por meio da eletrólise, o hidrogênio (H₂) do oxigênio (O₂), (BARBOSA; TAMBOR, 2016).

A corrente elétrica continuamente aplicada à água tem como resultante a seguinte reação, na equação 1:



Através disso podemos notar que a produção molar de hidrogênio é duas vezes maior que de oxigênio, conforme a estequiometria da reação. Mediante esse processo, pode-se dizer que o volume de hidrogênio produzido é extremamente alto, permitindo trabalhar e efetuar aplicações diretas para esse gás, como em motores de combustão interna (LELUDAK; THOMAS; HAUS, 2013).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Eletrólise. De acordo com as leis da eletrólise foi convencionalizada por Michael Faraday, na qual estabelece que a quantidade de reagente consumido pela eletrólise deve ser diretamente proporcional a corrente que flui pela célula eletrolítica. (SARTORI et al, 2012).

A eletrólise é definida como um processo eletroquímico que promove uma reação química não espontânea, por meio de um potencial elétrico imposto sobre o sistema, através de uma célula eletrolítica. A eletrólise é baseada em reações de oxidação e redução, ou seja, na transferência de elétrons que são transferidos entre os reagentes, por meio da corrente elétrica aplicada. Por concordância, a eletrólise é classificada em eletrólise ígnea e eletrólise aquosa, (SILVA; LINARDI; SILVA, 2010).

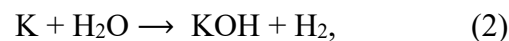
A reação química de eletrólise ígnea, estabeleceu-se na relutância de oxirredução não espontânea gerada pela passagem de corrente elétrica por meio de um composto iônico fundido. A eletrólise aquosa

acontece em uma célula eletrolítica e equivale na reação redox não espontânea gerada pela passagem de corrente elétrica por meio de uma solução aquosa eletrolítica, (KNOB, 2013).

Nesse experimento, adotamos o eletrólito aquoso de hidróxido de potássio (KOH), para fins de melhoria na condutividade elétrica e facilitar durante a quebra da molécula de água, funcionando como um catalisador.

Hidróxido de Potássio. Dentre os eletrólitos, foi escolhido o hidróxido de potássio (KOH) devido a sua ampla aplicação em células eletrolíticas, e através de estudos, tem demonstrados grande eficiência dos líquidos iônicos, como meio condutor na produção de hidrogênio por intermédio da água, (GHELLERE, JUNIOR, e MARTINS, 2017).

É comumente chamado de potassa cáustica e pertence à função inorgânicas das bases, sendo classificado como forte. Durante o processo de eletrólise temos as seguintes representações químicas distribuídas conforme a equação 2:

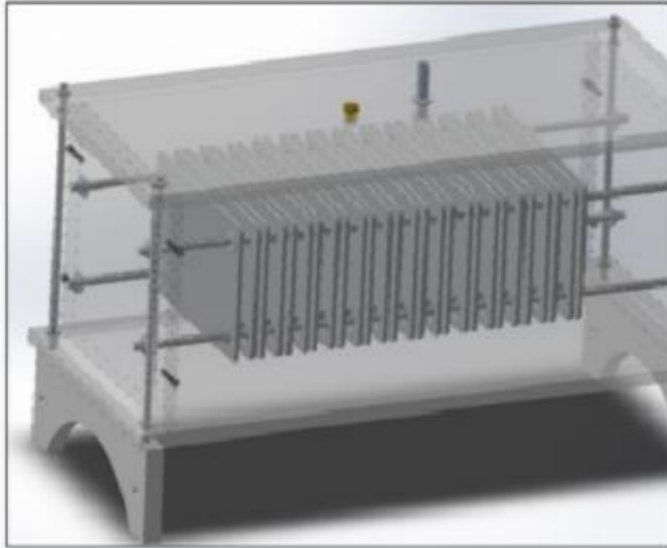


Onde o KOH se forma novamente, por isso ele funciona como um catalisador químico, fornecendo ótimo desempenho, (SOUZA, 2018).

Célula Eletrolítica. A célula eletrolítica é o mecanismo onde ocorre a eletrólise, ela é composta por uma caixa de acrílico, fonte de tensão e placas de aço inoxidável que formam os eletrodos positivos e negativos submersos em uma solução aquosa, (BARBOSA; TAMBOR, 2016).

As placas, porcas, arruelas e barras rosqueadas são de aço inoxidável 316L, as placas têm espessura de 03 milímetros e com separações uniformes entre elas, para a caixa do recipiente foi utilizado acrílico para melhor visualização do processo, a vedação da tampa é feita apenas com fita dupla face, provendo facilidade durante o manuseio, dois furos roscados no centro fazem a função de respiro e também para a saída dos gases produzidos. Foi escolhido o aço inoxidável devido a sua capacidade de suportar ambientes corrosivos e a capacidade de condutividade.

Figura 01 - Placas de forma unipolar de aço inoxidável 316L com configuração paralela. Célula eletrolítica desenvolvido software CAD



Fonte: URSUA et al, 2011.

Para esse projeto foi construído a célula utilizando a forma unipolar (Figura 1), isto é, as placas de aço estão em paralelo devido a fonte de energia utilizadas para os testes melhor atender os requisitos deste modelo de configuração, onde é necessário alta corrente e baixa tensão, (URSUA, 2011).

Componentes. Motor Toyama 63 CC: O motor que será utilizado para o experimento tem potência máxima de 1,48HP, 3600RPM com autonomia de 4,5 horas e consumo de combustível 1l/h, do grupo gerador 2 tempos, único na categoria e por oferecer fácil operação. Também opera como gerador monofásico 60HZ, potência máxima 950W, potência nominal 840W, corrente nominal 3,6A, rotação nominal 3600 RPM e carregador de baterias 12V / 8,3 A. Comumente utilizado em acampamentos, sítios, chácaras para gerar energia para televisores, ventiladores, rádios, lâmpadas e também para operar algumas máquinas, muito utilizado para pequenos negócios.

É um motor de ciclo Otto, cuja mistura de ar e combustível é proveniente do carburador em trabalho normal, onde, é injetado direto na câmara de combustão, ocorrendo a centelha produzida pela vela de ignição.

O gerador possui sistema de proteção, sendo um protetor para corrente contínua (carregador de baterias), e um para corrente alternada (tomada do gerador), esses protetores irão desligar o circuito elétrico (eletricidade) do gerador, caso ocorra

superaquecimento ou sobrecarga do gerador, (TOYAMA DO BRASIL).

Kit display LCD 20x4 + interface I2C back azul para PIC arduino: Tem capacidade de operação em 4 ou 8-bits paralelamente podendo mostrar várias informações e utiliza ligação simples através do arduino.

Arduino uno / Placa Mega 2560 R3: Para uso comumente em impressora 3D e aplicações de robótica, irá controlar todo o processo eletrônico.

Medidor de vazão de fluxo Hho gás ar oxigênio hidrogênio: para medir o fluxo de hidrogênio gerado pela célula eletrolítica.

Termopar tipo K Arduino: juntamente com o Módulo de Leitura Max6675 é um excelente dispositivo eletrônico destinado a fazer a medição e leitura de temperaturas entre 0 e 800°C. Pode ser utilizado em outros dispositivos compatíveis, contando com cabo em aço resistente e flexível, destacando-se que o Módulo de Leitura Max6675 que conta com circuito para detecção de quebra do termopar.

Sensor de pressão modelo MPX 5700AP: apresenta medidas precisas a uma faixa de pressão que variam entre 0 e 70 mca (metros de coluna d'água), com erro máximo de 2,5 % dentro da faixa de temperatura entre 0 e 85°C. O valor estimado para a pressão na literatura pesquisada e anunciada pelos fabricantes de células de Hidrogênio varia entre 11,5 e 18,0 mca.

Sensor de velocidade arduino chave óptica com disco: sua função é realizar a leitura de discos encoder. Emite um feixe de luz infravermelha imperceptível à visão humana, quando este feixe é rompido pelas "ranhuras" ou perfurações do disco encoder ciente da distância, velocidade e posição de movimentação.

Sensor de corrente não invasiva – 50A arduino PIC: este usa o efeito hall para detectar o campo magnético gerado pela passagem de corrente, gerando na saída do módulo (pino OUT) uma tensão proporcional de 66mV/A, também pode medir correntes entre -30 e +30A de maneira fácil e segura, sendo do tipo invasivo, ou seja, é preciso interromper o circuito para realizar a medição.

Sensor de Tensão A-25V DC arduino: sensor baseado no princípio dos divisores de tensão. Para o uso em microcontroladores de 5V.

Resistor shunt DC 200 amperes e tensão de 75 milivolts: utilizado para medir a corrente que está

sendo consumida pela fonte eletrolítica.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a obtenção dos resultados foi necessário levar em consideração alguns parâmetros, tais como: tempo de duração dos testes, volume de gasolina utilizada para cada teste em mililitros por minuto, rotação do motor e o volume de gás H₂ aplicado por minuto. Para a realização dos testes foi utilizado 150mL de gasolina, sendo repetido cinco vezes para-se obter um valor médio preciso. Os testes seguem os seguintes passos:

- Funcionamento sem carga, utilizando como combustível gasolina aditivada mais óleo para motor dois tempos como especificado pelo fabricante na proporção 50:1;
- Funcionamento com carga (Motor AC), utilizando combustível sem adição de gás H₂;
- Funcionamento do motor com carga (Motor AC), utilizando gasolina e implemento do gás H₂ como combustível secundário. A aplicação do gás de hidrogênio deverá seguir as regras conforme estabelecido na tabela 1, com diferentes concentrações médias;
- Elaboração de gráficos partindo dos dados coletados para melhor visualização dos resultados. Com o auxílio de sensores via arduino foi aplicado diferentes correntes para quantificar a produção de gás, utilizando uma fonte de 20A, para assim gerar a produção do gás via célula eletrolítica. Foi encontrado as médias de produção de hidrogênio para as correntes pré-determinada para cada teste como mostrado na tabela 01.

Tabela 1 - Volume de Gás Produzido / Corrente

CORRENTE (A)	GÁS PRODUZIDO (mL / Min)
10A	97,37
7A	71,23
5A	47,95
6,5A	65,42
6A	59,95
5,5A	52,46

Fonte: Autor 2020.

Na Tabela 2 pode ser observado o funcionamento do motor sem adição de gás H₂, ou seja, o motor funcionando em sua condição normal como estabelecido pelo fabricante, com o intuito de retratar nos próximos testes, quais serão as

alterações. A coleta de dados realizada para a primeira seção de teste, referindo-se as marcações de tempo para a média final, cujo consumo é de 150 mililitros de gasolina, sendo a média de consumo do teste igual a 5,7885 mililitros por minuto e 3617,8 RPM médio. Os mesmos procedimentos foram adotados para os demais testes partindo deste princípio.

Tabela 2 – Resultados de consumo e RPM com 150 mL de gasolina pura.

TEMPO (SEG)	CONSUMO (mL / Min)	RPM MÍNIMO	RPM MÁXIMO	RPM MÉDIO
312	5,7692	3620	3640	3617
306	5,7325	3608	3616	3605
314	5,8252	3600	3610	3625
315	5,8824	3610	3624	3630
309	5,7488	3620	3630	3612

Fonte: Autor 2020.

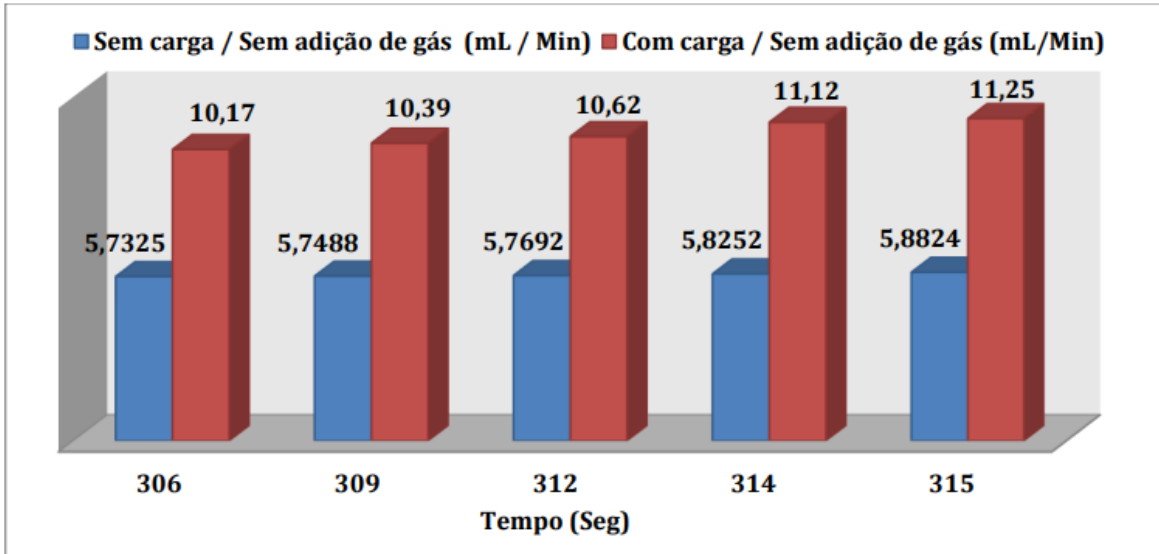
Foi executado as análises de consumo de gasolina partindo de 5,65 - 5,9 mL/min, assim como as rotações denominada pela tabela 2 (RPM médio).

O desempenho do motor mostrado no Gráfico 1, é sem carga e com carga com ausência de gás H₂, onde é possível visualizar as alterações no consumo de gasolina, assim como, uma pequena queda na rotação, devido a carga aplicada, mostrando basicamente, o trabalho do motor em uma condição normal.

Nos próximos testes foram aplicados diferentes volumes de corrente com a implementação do gás H₂, conforme especificado na Tabela 1, colocando carga 306 309 312 314 315 5,7325 5,7488 5,7692 5,8252 5,8824 10,17 10,39 10,62 11,12 11,25 Tempo (seg) Sem carga / Sem adição de gás (mL / Min) Com carga / Sem adição de gás (mL/Min) durante o funcionamento do motor (motor AC), analisando desempenho / performance e consumo.

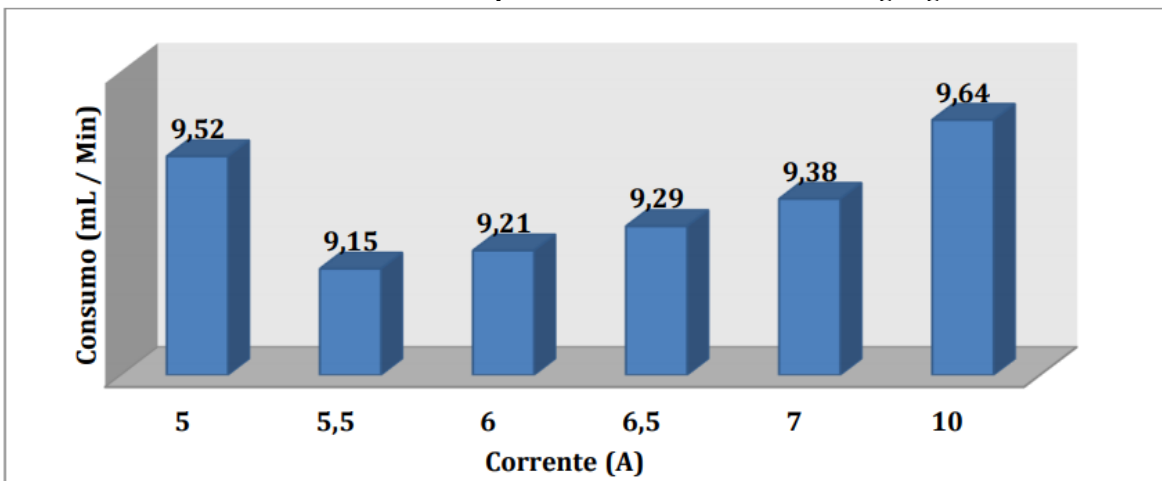
Cada teste foi repetido cinco vezes para assim coletar uma média, visando maior precisão nos resultados de desempenho do motor, tanto para rotação quanto para consumo, no objetivo de verificar se a quantidade de gás injetado faz diferença, ou se o motor tem uma estequiometria ideal de funcionamento mostrado nos Gráficos 02 e 03, para análise tanto de desempenho, rotação e consumo.

Gráfico 1 - Operação normal do motor.



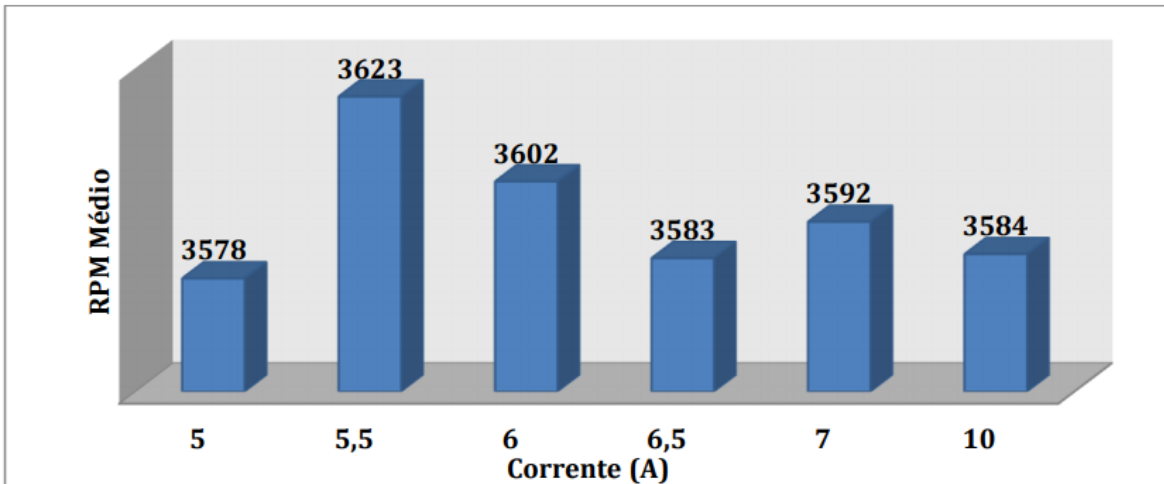
Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 2 - Análise de desempenho de consumo médio com carga / gás H₂.



Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 3 - Análise de desempenho de RPM médio com carga / gás H₂.



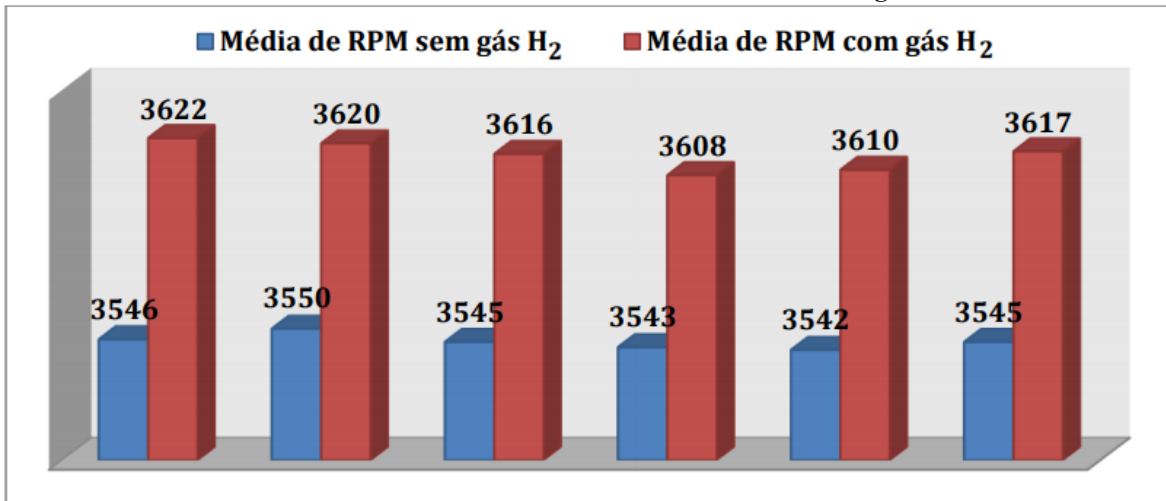
Fonte: Autor, 2020.

Nos Gráficos 04 e 05, é possível verificar os resultados dos testes, onde foi aplicado às médias de consumo e de rotação, aplicando carga ao motor levando em consideração as correntes estabelecidas na Tabela 1, e o tempo em segundo mostrado na Tabela 2.

Comparando os resultados de consumo sem gás e com gás, assim como, RPM sem gás e com gás,

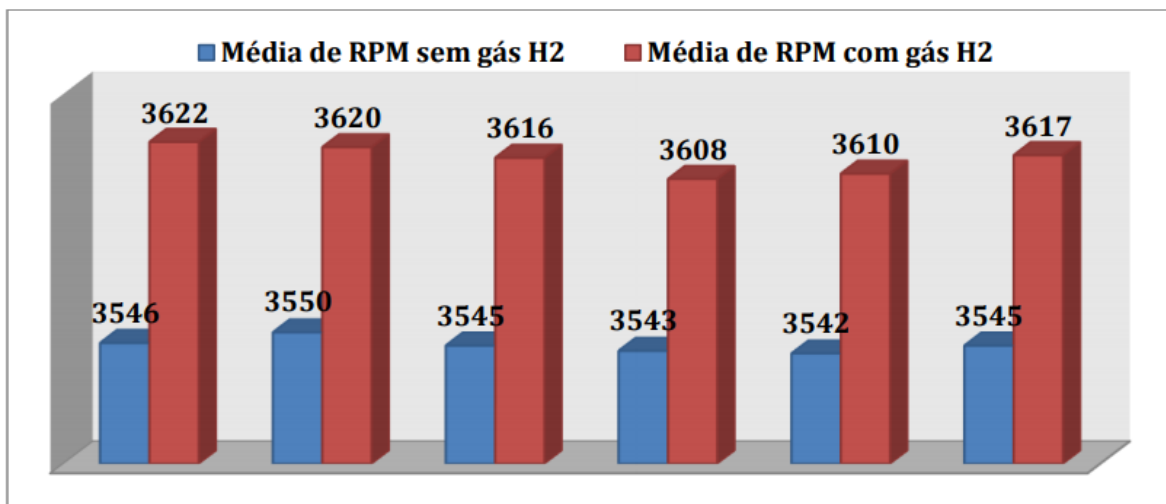
nos Gráficos 4 e 5 é mostrado que os testes foram satisfatórios e superiores ao encontrado nos demais testes com a aplicação do hidrogênio, apresentando melhora no desempenho do motor para faixa acima da rotação nominal (3600 RPM), onde, também podemos notar uma queda significativa no consumo de gasolina.

Gráfico 04 - Resultado das médias de consumo com e sem gás H₂.



Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 05 - Resultado das médias de RPM com H₂.



Fonte: Autor, 2020.

Quanto a performance e melhoria, estas podem ser vistas na Tabela 03. Foram necessários vários testes para assim, definir qual a estequiometria que mais se aproxima de um melhor desempenho do motor, uma vez que a quantidade de hidrogênio inserido nem sempre resulta em economia, mas também na perda de outros dados importante e que

devemos levar em consideração para uma boa performance e desenvolvimento do motor, como por exemplo: rotação e torque.

Conforme Tabela 3, para esse motor tivemos bons resultados para a corrente estipulada de 5,5 A, a qual alcançou maiores porcentagens de melhoria tanto no consumo como no desempenho do motor.

Tabela 03 - Consumo e desempenho obtidos.

CORRENTE (A)	GÁS H₂ (mL/Min)	MELHORA DO CONSUMO (%)	MELHORA DO DESEMPENHO (%)
10 A	97,37	5,70%	0,90%
7 A	71,23	8,36%	1,18%
5 A	47,95	6,98%	0,85%
6,5 A	65,42	9,43%	0,84%
6 A	59,95	10,23%	1,41%
5,5 A	52,46	11,41%	2,06%

Fonte: Autor, 2020.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após os testes envolvendo diferentes proporções de gás H₂ na mistura de combustível, pode-se concluir que houve economia significativa de 11,41% no consumo, e aumento no desempenho de 2,06%, proporcionando valores médios de trabalho acima da rotação nominal. Com base nos resultados é possível observar que o volume de gás H₂ aplicado de 52,46 mililitros por minutos é o valor que mais se aproxima de uma mistura estequiométrica ideal, para os testes realizados, uma vez que temos um intervalo de 5A – 6A, que poderá ainda ser explorado, utilizando instrumentos mais precisos e aumentando-se o intervalo de potência e consequentemente volume de H₂ na mistura do combustível. Certamente a aplicação de hidrogênio em um motor de combustão 4 tempos poderá trazer ótimos resultados, devido ao fato de que os motores dois tempos (2T), apesar de possuírem os mesmos processos, eles possuem sobreposição de alguns estepes em um mesmo curso, somado ao fato de que o fluido lubrificante é misturado ao fluido ativo.

VI. REFERÊNCIAS

BARBOSA, C. H.; TAMBOR, J. H. M. **Redução de consumo de combustível convencional pela adição de gás hidrogênio.** São Paulo. Caleidoscópio, 8(1), 2016.

SOUZA, M.M.V.M. **Hidrogênio e células a combustível.** Rio de Janeiro: Synergia editora, 2018.

FERNANDES, A. L. et al. **Desenvolvimento de uma Célula Eletroquímica de Desprendimento de Hidrogênio (H₂) em Meio Aquoso para Alimentar um Motor do Tipo Ciclo Otto.** (Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção de título de bacharel em engenharia elétrica). Fundação Ituverava, São Paulo. 2018.

KNOB, D. **Geração de hidrogênio por eletrólise da água utilizando energia solar fotovoltaica.** (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

LELUDAK, F. T.; HAUS, T. L. **Célula de hidrogênio: estudo e construção de uma célula eletrolítica para produção de hidrogênio gasoso.** Caderno PAIC, 14(1), 383-397, 2013.

NÚÑES, A. F. **Uma Introdução ao ARDUINO e suas Aplicações na Robótica.** <http://pet.inf.ufpel.edu.br/sacomp/2012/palestras/SACOMP2012-29_05-4.Arduino.pdf>Acessado em: 2ª quinzena de novembro, 2016.

OLIVEIRA SILVA, M. A.; LINARDI, M.; SALIBA SILVA, A. M. **Estudos de eletrólise aquosa em células de membrana polimérica.** 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, Campos do Jordão, SP, Brasil. 21 a 25 de novembro de 2010.

SARTORI, E. R.; DOS SANTOS, V. B.; TRENCH, A. B.; FATIBELLO-Filho, O.; **Construção de uma célula eletrolítica para o ensino de eletrólise a partir de materiais de baixo custo.** Química Nova na Escola, 35(2), 107-111, 2013.

UNILA - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. 2º Encontro de Iniciação ao Desenvolvimento Tecnológico e Inovação e 6º Encontro de Iniciação Científica, **Materiais alternativos para produção de hidrogênio em eletrólito ácido e básico.** Anais, Unila, 2017.

URSUA, A., GANDIA, L. M., & SANCHIS, P. **Hydrogen production from water electrolysis: current status and future trends.** Proceedings of the IEEE, 100(2410- 426.), 2011.