



Curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE HIDROGÊNIO E
GASOLINA EM MOTOR CICLO OTTO**

Fernando Osório Senra

Kelly Aparecida Moreira de Lima

Rodrigo Araujo de Abreu

Itatiba – São Paulo – Brasil

Dezembro de 2014



Curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE HIDROGÊNIO E
GASOLINA EM MOTOR CICLO OTTO**

Fernando Osório Senra

Kelly Aparecida Moreira de Lima

Rodrigo Araujo de Abreu

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas da Universidade São Francisco, sob a orientação do Me. Paulo Eduardo Silveira, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação.

Orientador: Me. Paulo Eduardo Silveira

Itatiba – São Paulo – Brasil

Dezembro de 2014

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE HIDROGÊNIO E GASOLINA EM MOTOR CICLO OTTO

Fernando Osório Senra

Kelly Aparecida Moreira de Lima

Rodrigo Araujo de Abreu

Monografia defendida e aprovada em 08 de dezembro de 2014 pela **Banca Examinadora** assim constituída:

Me. Paulo Eduardo Silveira (Orientador)

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

Me. Eugênio de Souza Morita

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

Me. Renato Franco de Camargo

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

“Magnífico é o homem que idealiza os seus objetivos tendo amor ao que faz, honra pelo mérito e fé para o impossível.”

(Fernando Osório Senra)

Agradecimentos

Agradecemos a Deus que esteve a nossa frente para nos guiar, atrás de nós para nos guardar, ao nosso lado para nos acompanhar, dentro de nós para nos consolar, ao nosso redor para nos abraçar, abaixo de nós para nos amparar e acima nós para nos abençoar.

Agradecemos a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para atravessarmos esta etapa que abrirá as portas para continuarmos caminhando para a pós-graduação.

De maneira especial agradecemos:

Aos professores Paulo Eduardo Silveira e Renato Franco de Camargo por contribuir com seu conhecimento na orientação e participação direta no desenvolvimento de pesquisas e testes do protótipo;

A todos os professores do curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas que se dedicaram ao ensino, o fazem com comprometimento e tanto contribuíram para o nosso crescimento intelectual;

Ao professor Eugênio de Souza Morita, que em 2014, foi orientador do nosso grupo na participação do evento da Jornada Científica, com o mesmo projeto do trabalho de conclusão de curso. Além de, gentilmente, após a conclusão do evento, continuou nos auxiliando até a conclusão deste trabalho.

Aos funcionários da Universidade São Francisco essencial à manutenção de toda a estrutura usufruída.

Sumário

LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 ELETRÓLISE	2
2.1.2 TIPOS DE ELETRÓLISE.....	3
2.1.3 ELETRÓLITOS	4
2.2 HIDROGÊNIO.....	4
2.3 COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS: ENERGIA LIMPA.....	6
2.4 A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE.....	7
2.4.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	8
2.5 GERADOR ELÉTRICO	9
2.5.1 GERADOR DE CORRENTE ALTERNADA (ALTERNADOR).....	9
2.6 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	9
2.7 RELAÇÕES ESTEQUIOMÉTRICAS ENTRE COMBUSTÍVEL E AR	10
2.8 TAXA DE COMPRESSÃO.....	11
2.9 EFICIÊNCIA DO MOTOR	12
2.10 MOTORES CICLO OTTO	13
2.10.1 FUNCIONAMENTO DOS MOTORES QUATRO TEMPOS	14
3. MATERIAL E MÉTODO.....	16
3.1 MATERIAL	16
3.1.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	16
3.1.2 CÉLULA GERADORA DE HIDROGÊNIO	17
3.1.3 MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DO BORBULHADOR	18

3.1.4 MOTO GERADOR.....	19
3.1.5 MATERIAL UTILIZADO PARA CONSTRUIR AS CARGAS RESISTIVAS ..	20
3.1.6 UTILIZAÇÃO DO PWM	21
3.1.7 FONTE UTILIZADA PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA	21
3.2 MÉTODO DE ENSAIO.....	22
3.2.1 PROCEDIMENTO PARA ELETRÓLISE COM NAOH	22
3.2.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO	22
3.2.3 MEDIÇÃO DO TEMPO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	23
3.2.4 MONTAGEM DO COLETOR ADAPTADO PARA INJEÇÃO DE HHO.....	24
3.2.5 CARGA RESISTIVA PARA SIMULAR A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 RESULTADOS E COMPARATIVOS.....	26
4.2 ANÁLISE COM GICLÊ ADAPTADO	27
5. CONCLUSÕES.....	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição técnica do Motogerador	20
Tabela 2 - Carga x Tempo - motor 100% gasolina	26
Tabela 3 - Análise da mistura gasolina e hidrogênio	26
Tabela 4 - Percentual análise gasolina (100%) e mistura gasolina e hidrogênio	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do processo de eletrólise (SANTOS JUNIOR, 2004)	2
Figura 2 - Descrição dos componentes internos de um motor	14
Figura 3 - Diagrama do ciclo quatro tempos: admissão, compressão, explosão e escape	15
Figura 4 - Protótipo do injetor de gás instalado no motogerador a gasolina	16
Figura 5 - Célula geradora de hidrogênio	17
Figura 6 - Borbulhador	18
Figura 7- Motogerador, marca Toyama, modelo TF1200	19
Figura 8 - Esquema elétrico das cargas resistivas	21
Figura 9 - PWM utilizado no experimento	21
Figura 10 - Preparação da solução	22
Figura 11 - Giclê adaptado	23
Figura 12- Coletor adaptado para injeção de HHO	23
Figura 13 - Recipiente graduado utilizado nos testes	24
Figura 14 - Sistema de injeção de gás HHO	24
Figura 15 - Análise comparativa	27
Figura 16 - Autonomia do motor	28

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

316L	Aço inox de alta resistencia com liga de molibdenio
A	Unidade de corrente elétrica (ampere)
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
cv	Energia mecanica produzida por um motor em cavalo vapor
Hc	Poder calorifico de um combustivel (kJ.kg)
HHO	Mistura de H ₂ com O ₂
hp	Energia mecanica produzida por um motor em horsepower
mc	Vazão massica de combustivel(kg.h ⁻¹)
NaOH	Hidróxido de sódio
η	Eficiência de um motor a combustão interna
n	Rotação do motor (revoluções por minuto)
np	Número de polos
P	Potência elétrica (W)
rpm	Rotações por minuto
V	Unidade de tensão (volt)
λ	Relação estequimetrica entre combustível ar

SENRA, Fernando Osório; LIMA, Kelly Aparecida Moreira; ABREU, Rodrigo Araujo de. Estudo da aplicação de hidrogênio e gasolina em motor ciclo Otto. **2014. 39 p. Monografia – Curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas da Universidade São Francisco, Campus de Itatiba.**

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo estudar e avaliar o desempenho de um protótipo constituído de um motor a combustão, ciclo Otto, quatro tempos alimentado por gasolina e hidrogênio. Para obtenção do gás HHO foi realizado o processo de eletrólise, utilizando-se como eletrólito o NaOH (hidróxido de sódio) . Após a injeção de gás HHO, juntamente, com a gasolina, foram adotados como parâmetros de estudo o tempo de funcionamento do motor com aplicação de cargas resistivas. Os principais resultados encontrados permitiram avaliar que, quando o motor foi alimentado com mistura gasolina e hidrogênio, este apresentou uma melhor eficiência do que quando alimentado apenas com gasolina. Os resultados permitiram concluir que o motor consumiu menor quantidade de gasolina, gerando menor quantidade de gases poluentes.

Palavras-chave: Eletrólise, Gás HHO, Hidrogênio.

1. INTRODUÇÃO

O mundo, na atualidade, demanda alto consumo de energia elétrica, sendo, contudo previsível o esgotamento de fontes energéticas fósseis, o que leva à necessidade de se encontrar, num futuro próximo, fontes alternativas que sejam seguras, limpas, renováveis e economicamente viáveis, para obtenção desse tipo de energia.

Contudo, a solução para esta crise energética anunciada deve estar em sintonia, principalmente, com a diminuição da poluição ambiental.

A geração de eletricidade, em alta escala, utilizando combustão de petróleo, através de geradores usualmente encontrados no mercado, demanda a busca por outras fontes que possibilitem que seja alcançada a meta de serem atingidos os mesmos objetivos, porém, com custos menores e com menos agressividade ao meio ambiente.

Nesse contexto, o hidrogênio (H_2) surge como uma alternativa válida dado que é o elemento mais abundante no universo e sua combustão direta produz uma quantidade significativa de energia e libera apenas água.

Uma das alternativas adotadas para o processo de produção de hidrogênio é através da eletrólise da água, pois além de ser um processo relativamente simples não gerando nenhum resíduo que venha a ser prejudicial ao meio ambiente, a produção do hidrogênio torna-se uma técnica eficiente de transformação e armazenamento de energia limpa.

Diante da ventilada necessidade de se buscar avanços no âmbito de geração e distribuição de energia, o que se tornou uma tendência mundial, e os estudos voltados para a melhora na produção de energia objetivando favorecer um meio ambiente sustentável, o presente trabalho apresentará alternativa para obtenção de energia elétrica, utilizando o hidrogênio como fonte de combustão, recurso este abundante no planeta, o que contribui para a sustentabilidade energético-ambiental e econômica, tratando-se esse elemento químico de fonte energética renovável e de baixo potencial poluente.

Esse tema remete ao foco da tecnologia relacionada ao desenvolvimento de Células a Combustível e um sistema de geração de energia elétrica, com baixa emissão de poluentes associada a uma alta eficiência energética.

Em vista do exposto, este trabalho teve como objetivo estudar e avaliar o desempenho de um protótipo constituído de um motor a combustão, ciclo Otto, quatro tempos alimentado por gasolina e hidrogênio adotando o hidróxido de sódio (NaOH) como eletrólito reator.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem por objetivo acrescentar os conhecimentos necessários para entendimento do leitor sobre o tema desenvolvido.

A revisão bibliográfica foi restrita ao processo de eletrólise e o princípio de funcionamento de um motor à combustão interna de ciclo Otto.

2.1 Eletrólise

A eletrólise é um método utilizado na obtenção de reações de oxirredução.

Em soluções eletrolíticas, este processo se baseia na passagem de uma corrente elétrica através de um sistema líquido que tenha íons presentes, gerando assim, reações químicas.

Em geral a eletrólise é um processo químico provocado pela aplicação de uma corrente elétrica, e começou a ser usada a partir da constatação de que substâncias iônicas possuem a capacidade de conduzir corrente elétrica quando presentes em soluções aquosas. A eletrólise é um processo que se baseia na descarga de íons, onde ocorre uma perda de carga por parte de cátions e ânions.

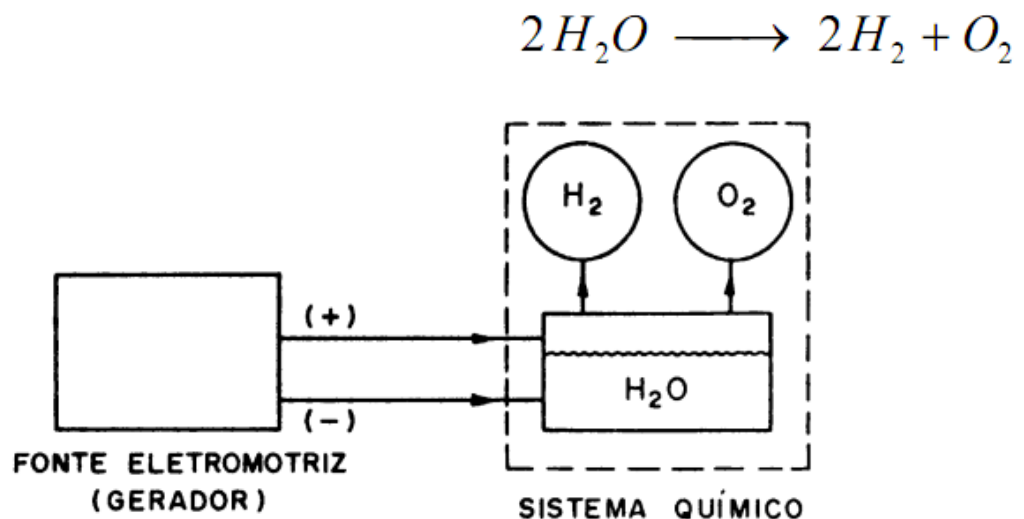


Figura 1 - Diagrama do processo de eletrólise (SANTOS JUNIOR, 2004)

O físico-químico Michael Faraday (1791-1867) realizou uma série de experimentos e percebeu que quando uma corrente elétrica (eletrólise) passa em uma solução de determinado metal, os íons desse metal se depositam no fundo do recipiente. Além disso, Faraday concluiu

que a massa de uma substância transformada ou formada por eletrólise é diretamente proporcional à quantidade de carga elétrica do sistema. Isso significa que quanto maior for a intensidade da corrente elétrica dispensada na eletrólise, maior será a quantidade formada de massa do produto.

A eletrólise é muito utilizada na indústria, pois por meio dela é possível isolar algumas substâncias fundamentais para muitos processos de produção, como o alumínio, o cloro, o hidróxido de sódio. Além disso, também é um processo que purifica e protege (revestimento) vários metais.

2.1.2 Tipos de Eletrólise

Existem dois tipos principais de eletrólise: a **eletrólise ígnea** e a **eletrólise aquosa**.

A eletrólise ígnea ocorre quando a passagem de corrente elétrica se dá em uma substância iônica liquefeita, isto é, fundida. Daí a origem do nome “ígnea”, uma palavra que vem do latim, *ígneus*, que significa inflamado, ardente. Processo este que ocorre em altas temperaturas em torno de 800°C dependendo da substância utilizada.

A eletrólise aquosa é o nome de uma reação química provocada pela passagem de corrente elétrica por meio de uma solução de um eletrólito dissolvido em água a baixas temperaturas, geralmente de 45 a 100°C.

Segundo Souza (1998) a eletrólise da água consiste no processo eletroquímico de dissociação da água em hidrogênio e oxigênio através de reações químicas desencadeadas sob a ação de uma fonte eletromotriz. Tensão e corrente são fornecidas aos eletrodos (cátodo e ânodo), entre as quais existe um meio condutor iônico. Quando uma determinada tensão mínima é aplicada aos eletrodos, as reações químicas desencadeadas em cada um têm como resultado o rompimento da ligação entre os elementos constituintes da água gerando dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio para cada molécula dissociada, mais comumente conhecida como molécula HHO.

O processo de eletrólise da água ocorre quando há uma passagem de corrente elétrica numa solução aquosa, isto é, com um sal, um ácido ou uma base, diluído em água e que se ionizam ou sofrem dissociação iônica, originando íons livres.

Os íons da água interferem nas eletrólises em meio aquoso, porque eles podem se depositar nos eletrodos se a sua tendência for maior do que a dos íons da substância dissolvida.

Quando está na sua forma pura, porém, a água (destilada) é má condutora de eletricidade e não é possível realizar a sua decomposição eletrolítica. Isso acontece porque a auto ionização da água é muito pequena e insuficiente para conduzir corrente elétrica.

Então, se quisermos causar uma eletrólise do cátion e do ânion da água, teremos que dissolver algum soluto que contenha íons mais reativos que os da água, que não participem das reações envolvidas.

2.1.3 Eletrólitos

Os eletrólitos são soluções que permitem a passagem dos elétrons, mas isso não garante que eles possam circular livremente. Existem eletrólitos fortes, que praticamente não impedem a passagem dos elétrons, eletrólitos médios, que apresentam alguma resistência à corrente, eletrólitos fracos, que se opõem fortemente, mas permitem a passagem da corrente, e os não eletrólitos, soluções que não permitem que a corrente elétrica os atravesse.

Para este objeto de estudo foi adotado o NaOH (hidróxido de sódio), também conhecido como soda cáustica.

O hidróxido de sódio (NaOH), é um hidróxido cáustico usado na indústria, principalmente como base química, na fabricação de papel, tecidos, detergentes, alimentos e biodiesel. Trata-se de uma base forte.

Apresenta ocasionalmente uso doméstico para a desobstrução de encanamentos e sumidouros, pois dissolve gorduras e sebos. É altamente corrosivo e pode produzir queimaduras, cicatrizes e cegueira devido à sua elevada reatividade.

Reage de forma exotérmica com a água e é produzido por eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de sódio (salmoura), sendo produzido juntamente com o cloro.

2.2 Hidrogênio

O presente trabalho objetiva alcançar a elaboração de motor de geração de energia elétrica que utiliza como combustível o hidrogênio, em maior escala, minimizando a aplicação de recursos energéticos advindos de outras fontes.

O hidrogênio é uma fonte renovável de energia, não tóxica, corrosiva ou cancerígena e embora seja inflamável, possui rápida dispersão e alto coeficiente de difusão, e possui quantidade de energia por unidade de massa maior que qualquer outro petróleo conhecido (52.000 BTU/lb ou 120,7kJ/g), cerca de três vezes mais que o petróleo em seu estado líquido.

Sua aplicação através de células a combustível produz apenas energia e água. O hidrogênio pode ser obtido a partir de: combustíveis fósseis, água e processos biológicos.

O hidrogênio, como se sabe, é o elemento mais abundante no universo, podendo ser encontrado em praticamente tudo. Ele compõe 75% da massa do universo e 90% de suas moléculas, como a água (H₂O) e as proteínas nos seres vivos.

A definição deste elemento, quando encontrado em seu estado natural e sob condições ambientes de temperatura e pressão, é tratar-se de um gás incolor, inodoro, insípido e muito mais leve que o ar.

O hidrogênio compõe 30% da massa solar, sendo a fonte da energia do Sol, pela qual é produzido o aquecimento da Terra, favorecendo a vida em nosso planeta, o que se constitui num ótimo exemplo do potencial energético deste elemento.

Para transformação do hidrogênio em energia elétrica é necessária sua combustão. As misturas dos gases hidrogênio e oxigênio são inflamáveis, até mesmo explosivas, dependendo da concentração.

Quando o hidrogênio é queimado com oxigênio puro, os únicos subprodutos são o calor e a água, o que seria sua utilização ideal, porém o processo para obtenção do oxigênio puro, que é instável, não é de fácil realização.

Quando queimado com ar, constituído por cerca de 68% de nitrogênio e 21% de oxigênio, que é significativamente mais fácil de se obter na natureza, alguns óxidos de nitrogênio são formados. Ainda assim, a queima de hidrogênio com ar produz menos poluentes atmosféricos que os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral).

Outra qualidade na utilização do hidrogênio encontra-se no fato de que tal substância é mais leve que o ar e por isso escapa mais facilmente, e, assim, numa hipótese de vazamento não fica ele acumulado no local, o que torna seu uso mais seguro que a do gás de cozinha (GLP), e combustíveis líquidos (Etanol, Diesel e Gasolina), evitando, assim, explosões e grandes incêndios.

Contudo, diante de seu abrangente potencial, as pesquisas sobre hidrogênio estão se diversificando, estando concentradas atualmente na sua aplicação como parte na geração de energia elétrica, térmica e de água pura através das células à combustível.

Nesse diapasão, para que o hidrogênio seja utilizado na geração de energia elétrica, obtendo-o através da água como matéria prima, onde ele se encontra em abundância, o que se mostra bem interessante, econômico e relativamente simples, é necessária a decomposição desta última, através de um processo de eletrólise.

2.3 Combustíveis alternativos: Energia limpa

Como é de consciência unânime, a preocupação com a crescente necessidade de obtenção de energia, porém, através de fontes limpas, renováveis, economicamente viáveis e não poluentes, tem levado cientistas de todas as nações a buscar soluções criativas para essa exigência do mundo atual.

Para Longo (2008) desde o advento da revolução industrial, intensificou-se a utilização dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) os quais, contudo, além de não serem renováveis, tendo suas reservas capacidade finita, sua utilização tem fortes impactos ambientais como, por exemplo, o aumento do efeito estufa e as consequentes alterações do clima.

“Uma grande porcentagem da poluição vem dos veículos que liberam poluentes atmosféricos, como monóxido de carbono, dióxido de azoto, partículas ultrafinas e compostos orgânicos voláteis que podem ter efeitos negativos não apenas sobre o meio ambiente, mas também sobre a saúde humana. A melhor forma de solucionar este problema é substituindo a queima de combustível fóssil por um combustível mais limpo (CONELHEIRO,2012; ARQUIMEDES, 2012).”

Como acima demonstrado, embora sejam várias as opções de fontes limpas alternativas de captação de energia, muitas delas não se mostram economicamente competitivas ou de fácil obtenção.

Nesse passo, surge como excelente substituto o hidrogênio, que é facilmente produzido com água e tem um ótimo aproveitamento.

As misturas dos gases hidrogênio e oxigênio são inflamáveis, até mesmo explosivos, dependendo da concentração, porém, a queima de hidrogênio com o ar produz muito menos poluentes atmosféricos que a queima dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão) e dos biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, que também são muito poluentes.

A crescente demanda por combustíveis derivados do petróleo associado à redução da produção mundial levou ao aumento do preço, promovendo a procura por outras soluções que não dependessem de hidrocarbonetos. Sendo assim, os pesquisadores buscam uma alternativa de combustível que pode ser usado em motores sem que haja a necessidade de grandes alterações mecânicas. Uma das alternativas seria o hidrogênio em seu estado gasoso, pressurizado para ser utilizado como combustível em motores de combustão interna.

Nesse contexto, Sierens (2000) relata que

Segundo estudos recentes observaram-se algumas vantagens, como melhora na potência do motor, redução nas concentrações de poluentes expelidos no escape e redução no consumo específico. Uma alternativa para a obtenção do gás hidrogênio é através do processo relativamente simples chamado de eletrólise da água onde o gás hidrogênio pode ser retirado da água por uma reação endotérmica. Nesta reação, o oxigênio também é despreendido da água, podendo ser utilizado, juntamente com o hidrogênio e o combustível base (gasolina, diesel ou gás natural) em motores de combustão interna.

2.4 A história da eletricidade

Desde o início da civilização, o homem desenvolve mecanismos de utilização das forças da natureza para realizar atividades e trabalhos, facilitando, assim, a atividade humana.

As fontes de subsídios vêm tanto da força das águas, como dos ventos ou animal, havendo a tecnologia evoluído de forma a tornar possível ao Homem o aproveitamento controlado e eficiente dessa energia (POMILIO, 2012).

Qualquer que seja o mecanismo utilizado para obtenção da energia elétrica, com máquinas eólicas, hidráulicas ou a vapor, sua transmissão se fazia de forma exclusivamente mecânica, através de eixos, roldanas e engrenagens, o que causava limitação na flexibilidade de suas aplicações, pois, demandavam domínio de maior complexidade e controle independente de cada tipo de maquinário. Tais limitações físicas, de mobilidade e manutenção fazem com que essa forma mecânica de transmissão de energia elétrica não se constitua no melhor vetor energético.

Pode-se, assim, afirmar que a grande vantagem da eletricidade sobre outras formas de energia seja exatamente sua portabilidade e facilidade de transformação, o que incentivou a pesquisa e desenvolvimento de formas de obtenção dessa fonte de energia e sua condução, o que nos remete à primeira metade do século XIX, quando pesquisas realizadas resultaram nas descobertas das leis fundamentais do eletromagnetismo, destacando-se as descobertas de Michael Faraday e Joseph Henry, de forma autônoma, em 1831, fazendo a vinculação dos fenômenos elétricos aos magnéticos que abriram as portas para outras formas de produção de energia elétrica, em maior quantidade e, portanto, à aplicação produtiva da eletricidade.

A energia elétrica, assim, constitui um tema de crucial importância nas sociedades contemporâneas, ensejando calorosos debates e sendo assunto de grande interesse veiculado em todos os meios de comunicação.

Os primórdios da conceituação organizada dos fenômenos relacionados à energia elétrica encontra-se na antiguidade grega, diante da observação da eletrificação de certos materiais pelo atrito, fenômeno que hoje chamamos de eletricidade estática, que se define, basicamente, como um acúmulo de carga elétrica positiva ou negativa em um determinado objeto, em consequência de um desequilíbrio de cargas decorrente de remoção ou acréscimo de elétrons.

Um exemplo comum deste tipo de fenômeno é o que se observa quando um pente plástico, quando passado pelo cabelo por várias vezes, adquire carga elétrica suficiente para atrair pequenos pedaços de papel ou cortiça.

Atribui-se ao filósofo grego Tales de Mileto (636-546 a.C.) o primeiro registro organizado de um fenômeno relacionado à eletricidade estática, ao descrever a atração exercida pelo âmbar sobre corpos leves como o papel e a cortiça, após ter sido atritado com a lã.

Este filósofo iniciou a racionalização dos estudos desses fenômenos naturais, utilizando-se do elemento “água” como princípio material que dá origem a todas as coisas, buscando estabelecer generalizações que visavam sistematizar muitas mudanças e movimentos observados no mundo.

Anos mais tarde, no século XVII, encontram-se novos estudos sobre a eletricidade, impelidos pela construção de aparelhos que ficaram conhecidos como máquinas ou geradores eletrostáticos, concebidas pelo físico alemão Otto Von Guericke (1602-1686).

2.4.1 Geração de Energia Elétrica

Como demonstrado acima, é a energia elétrica uma das formas de energia mais utilizadas no mundo, tratando-se de um elemento básico da infraestrutura de qualquer nação, não só no uso doméstico, para iluminação e uso de eletrodomésticos, como também, e principalmente, na produção industrial, ou seja, é fundamental na industrialização, no desenvolvimento econômico e na realização de todos os trabalhos de uma sociedade.

A energia elétrica configura-se na capacidade de uma corrente elétrica realizar trabalho, sendo necessária que seja ela obtida através da aplicação entre dois pontos de um condutor, de uma diferença de potencial, gerando a indigitada corrente elétrica entre seus terminais.

Para tal é necessário que se obtenha essa corrente mediante diferentes formas, obtendo-se a energia necessária de diversas fontes renováveis e não renováveis, como a água, os ventos, a energia do sol ou de recursos fósseis.

2.5 Gerador elétrico

O conceito de gerador de energia elétrica está atribuído ao fato deste ser um dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica. Ele pode ser de corrente contínua, comumente conhecido como dínamo ou corrente alternada, mais conhecida como alternador.

Tendo como princípio básico a indução eletromagnética, que por sua vez consiste no surgimento de uma corrente elétrica em virtude da variação do fluxo magnético nas proximidades de um condutor.

Os motores e geradores têm duas unidades básicas: o campo magnético, que é o eletromagneto com suas bobinas e a armadura, a estrutura que sustenta os condutores que cortam o campo magnético e transportam a corrente induzida em um gerador, ou a corrente de excitação, no caso do motor. Em geral, a armadura é um núcleo de ferro doce laminado ao redor do qual se enrolam, em bobinas, os cabos condutores.

2.5.1 Gerador de Corrente Alternada (alternador)

Um gerador simples sem comutadores retificadores produzirá uma corrente elétrica que muda de direção à medida que a armadura gira. Como a corrente alternada apresenta vantagens na transmissão da energia elétrica, são desse tipo a maioria dos geradores elétricos. A frequência da corrente fornecida por um alternador é igual à metade do produto do número de polos e o número de revoluções por segundo da armadura.

2.6 Motores de combustão interna

O motor de combustão interna são aqueles em que há a queima interna de um combustível, através de um mecanismo constituído por pistão, biela e virabrequim que trabalhando de forma sincronizada transforma a energia térmica (calorífica) em energia mecânica.

O movimento alternativo do pistão dentro do cilindro é transformado em movimento rotativo, através da biela e do virabrequim.

Os motores de combustão interna são classificados como motores de ciclo Otto e motores de ciclo Diesel, nomes vinculados aos respectivos desenvolvedores.

Os motores de combustão interna, ciclo diesel, não possuem vela de ignição ocorrendo à combustão dentro da câmara de expansão, exclusivamente pelo aumento da temperatura causado pela compressão da mistura de ar e combustível, ou seja, sua ignição ocorre por compressão.

Sua aplicação geralmente em regime estacionários, onde a energia primária proveniente de combustível fóssil, neste caso diesel, é transformada em energia mecânica e transferida ao gerador elétrico através de acoplamento por eixo, correia ou polias. (VALENTE, 2007).

Os motores de combustão interna, ciclo Otto, a mistura de ar e combustível advindos do carburador, em suas corretas proporções, são aspiradas para a câmara de combustão, onde esta é realizada, a partir de uma centelha produzida por uma vela de ignição. É o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás ou metanol, utilizado em geral nos automóveis.

Esses motores podem ser dois tempos e quatro tempos, de acordo com a complexidade do sistema mecânico, sendo estes últimos, os de quatro tempos, objeto de estudo neste trabalho.

2.7 Relações estequiométricas entre combustível e ar

A combustão da mistura ar/combustível dentro do cilindro é um dos processos que controlam a potência, eficiência e emissões dos motores.

Nos motores de ignição por centelha o combustível é misturado com o ar já no sistema de admissão. Após a compressão desta mistura, uma descarga elétrica inicia o processo de combustão. Uma chama se desenvolve a partir do “núcleo” criado pela centelha e propaga-se através do cilindro até as paredes da câmara, onde se extingue.

Nos motores de ignição por compressão, o combustível é injetado no interior do cilindro contendo ar já a alta temperatura e pressão, próximo do final do curso de compressão. A autoignição de partes da mistura em desenvolvimento, do combustível injetado já evaporizado com o ar quente, dá início ao processo de combustão, que se espalha rapidamente. Para que a combustão aconteça à queima contínua à medida que a mistura ar-combustível atinge adequada composição.

A estequiometria diz respeito às relações entre a composição dos reagentes (combustível e ar) de uma mistura combustível e a composição dos produtos da combustão. Se há oxigênio suficiente, um combustível (hidrocarbonetos) pode ser completamente oxidado, isto é, o carbono é convertido em CO_2 e o hidrogênio em H_2O .

O Fator Lambda mede o desvio da mistura realmente admitida no cilindro com relação à mistura ideal ou estequiométrica, e pode ser utilizado para caracterizar os diferentes tipos de mistura, independentemente do combustível utilizado.

$$\lambda = \frac{\left[\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{F}} \right]_{\text{at}}}{\left[\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{F}} \right]_{\text{st}}} \quad (1)$$

Onde:

A: ar atmosférico

F: combustível admitido pelo motor;

at: é a relação real de massa de ar e combustível que está sendo admitida pelo motor kg/kg;

st: é a relação de massa ideal de combustível e ar estequiométrico kg/kg;

Quando a mistura admitida no cilindro possui menos ar e mais combustível esta se caracteriza como uma mistura rica ($\lambda < 1$), uma parte do combustível não é queimada, e a combustão torna-se incompleta. Como resultado, aumenta o nível de emissão de poluentes e o consumo de combustível. Se tal excesso ultrapassa certo patamar, a combustão não é mais possível, e o motor não funciona (motor afogado).

No caso oposto, ou seja, quando a mistura possui menos combustível e mais ar caracterizada como mistura pobre ($\lambda > 1$) a que corresponde á mistura ideal (excesso de ar), parte do oxigênio não é utilizada. No entanto, a combustão também se torna ineficiente com aumento do nível de emissões e , quando ultrapassado um determinado patamar, a combustão não é mais possível.

Para motores ciclo Otto, a condição de máximo rendimento com mínimo de consumo e emissão de poluentes, acontece para mistura estequiométrica ou próximo dela ($\lambda = 1$).

2.8 Taxa de compressão

A taxa de compressão é dada pela relação entre a cilindrada parcial e o volume da câmara de combustão, conforme equação 2.

(2)

$$Tc = \frac{C_p}{V_{cam}}$$

Em que:

Tc = taxa de compressão

Cp = cilindrada parcial (cm³)

Vcam = volume da câmara de combustão (cm³)

2.9 Eficiência do motor

O motor tem sua capacidade definida em termos de potência, normalmente em HP ou CV, indicando a quantidade de trabalho que ele consegue realizar em uma unidade de tempo. O rendimento é a relação entre a potência produzida e a potência calorífica entregue, ou seja, é a eficiência de transformação de calor em trabalho para um ciclo onde $\eta = \text{Potência produzida} / \text{Potência calorífica}$ (SOUZA; SILVA; BASTOS, 2010).

$$\eta_{conj} = \frac{[(P*1000)]}{mc*Hc} \quad (3)$$

Onde:

P: Potência gerada (W);

mc: Vazão mássica do combustível (kg.s⁻¹);

Hc: Poder calorífico inferior do combustível (kJ.kg).

O motor de combustão utilizado para prover energia mecânica ao gerador elétrico precisa produzir rotação de forma constante para manter a frequência da onda senoidal, de acordo com as especificações dos equipamentos a serem alimentados pelo gerador. Conforme a equação (4), é possível conhecer a velocidade de rotação do motor n em (rpm):

$$n = \frac{120f}{np} \quad (4)$$

Onde:

n: rotação do motor (rpm);

f: frequência da onda senoidal (Hz);

np: número de polos do gerador elétrico.

2.10 Motores ciclo Otto

Responsável pelo projeto do motor a quatro tempos em 1876, Nikolaus August Otto (1832-1891), engenheiro alemão, teve sua patente revogada em 1886 porque alguém já tinha tido essa idéia. Porém Otto e seus dois irmãos não se deram por satisfeitos e construíram os primeiros protótipos do seu motor, onde obtiveram grande aceitação por ter uma eficiência maior e ser mais silencioso que os modelos concorrentes. Curiosamente os primeiros modelos eram movidos a gás e somente depois de alguns anos foram aperfeiçoados aos modelos de gasolina com admissão de ar.

Dentre os elementos que compõe o motor, destacam-se necessários ao funcionamento as válvulas (que controlam a entrada e saída de ar ou produto da explosão), a vela que emite a faísca que dá início à explosão e no interior do motor o virabrequim que controla várias funções do motor como o acionamento das válvulas, a sincronia dos pistões e a transmissão de energia mecânica para a caixa de câmbio.

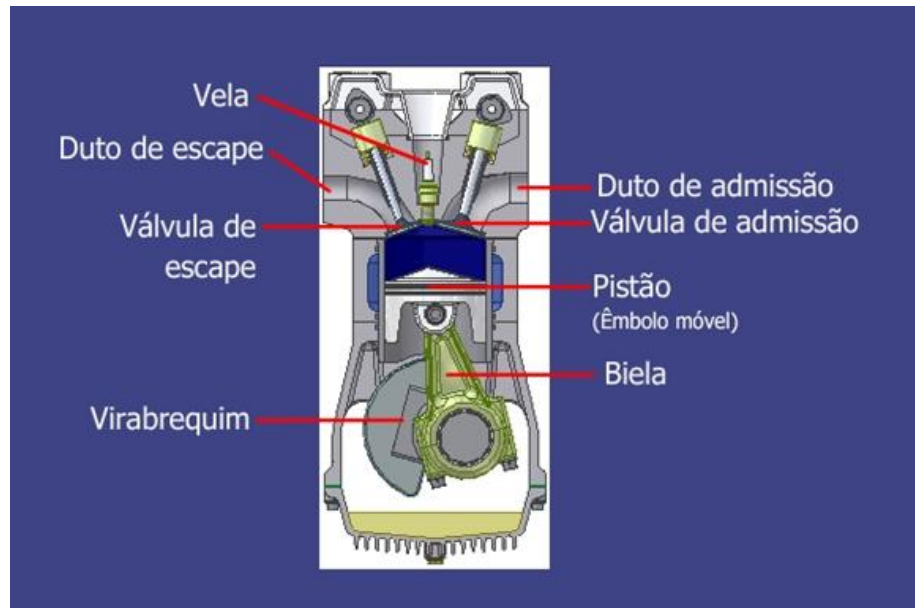


Figura 2 - Descrição dos componentes internos de um motor

2.10.1 Funcionamento dos motores quatro tempos

O princípio de funcionamento dos motores quatro tempos são admissão, compressão, explosão e escape.

No processo de admissão a válvula de admissão permite a entrada de uma mistura ar e combustível na câmara de combustão, enquanto o pistão se move de forma a aumentar o espaço no interior da câmara. Já na compressão o pistão se move de forma a comprimir a mistura, fazendo seu volume diminuir.

No término da compressão um dispositivo elétrico gera uma centelha que ocasiona a explosão da mistura ocasionando sua expansão.

Para finalizar a exaustão ou escape é quando a válvula de saída se abre e permite a saída do gás queimado na explosão. A expansão leva a máquina ao próximo estado, onde retorna ao seu estado inicial, reiniciando o ciclo.

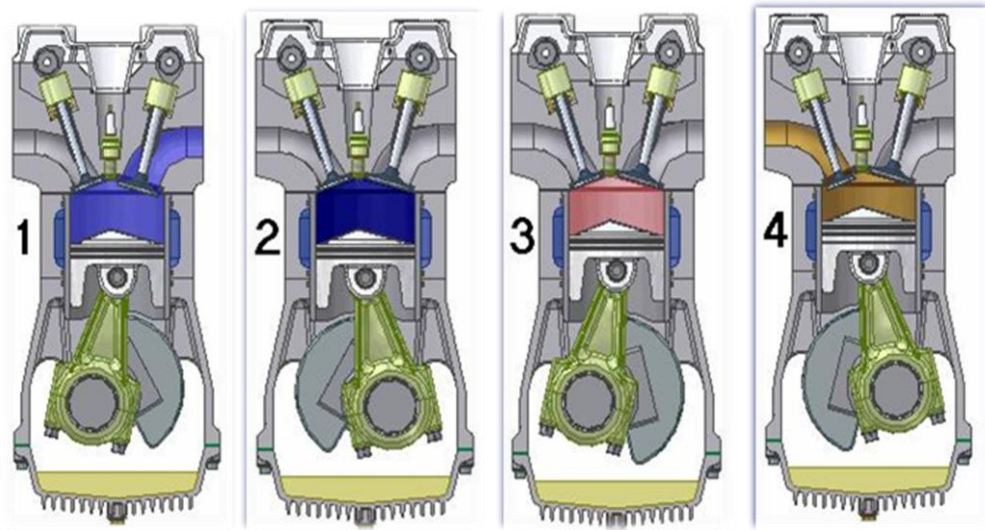


Figura 3 - Diagrama do ciclo quatro tempos: admissão, compressão, explosão e escape

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 Material

Para a realização do experimento, foi utilizado um motogerador a combustão movido por um motor ciclo Otto, quatro tempos. Além do gerador de energia elétrica, foi utilizado um kit gerador de hidrogênio.

Na Figura 3-1 pode-se observar o esquema do sistema completo da instalação do injetor de HHO no motogerador.

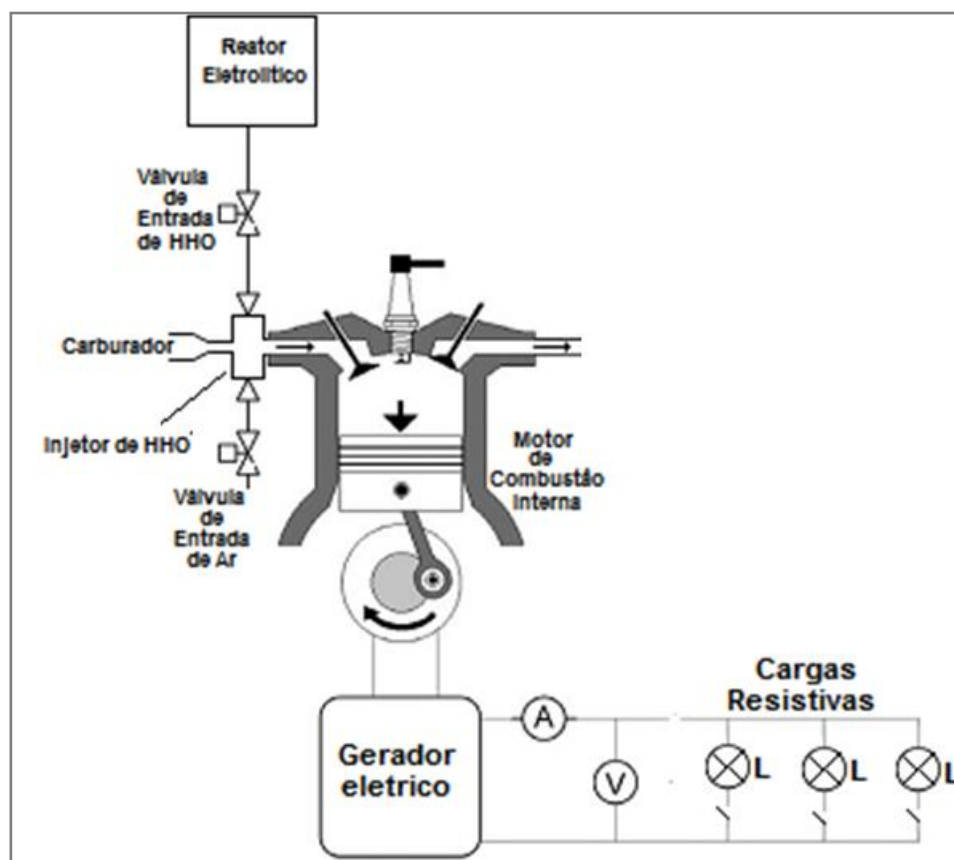


Figura 4 - Protótipo do injetor de gás instalado no motogerador a gasolina

3.1.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado em ambiente residencial.

3.1.2 Célula geradora de Hidrogênio

O kit gerador de hidrogênio possui uma célula seca composta por chapas em aço inox 316L de 0,80mm, uma célula seca HHO composta por chapas de sustentação em acrílico transparente de 102 mm de altura, 102mm de largura e 12mm de espessura, parafusos, arruelas e porcas sextavadas auto-travantes, vedação entre as chapas com anéis em viton 75 que não deforma e suporta temperatura até 300 graus. Seu formato permite manter a corrente elétrica entre as placas produzindo maior quantidade de hidrogênio com menor calor.

A diferença entre o design das células secas e úmidas é que um gerador de hidrogênio de célula seca contém apenas uma quantidade mínima de água no gerador. A maioria da água do sistema é armazenada num reservatório separado. Em geral as células secas são mais eficazes que as células úmidas porque praticamente nenhuma corrente elétrica é desperdiçada no processo de eletrólise (que utiliza eletricidade para dividir a água em Hidrogênio e Oxigênio).

A eficácia de uma célula seca aumenta com o número de placas, até um máximo de sete. Esta configuração de sete placas tem uma “positiva”, uma “negativa” e cinco placas flutuantes “neutras”, que formam um total de seis câmaras de reações eletrolíticas. Para simplificar, cada câmara eletrolítica requer 2 V. Por isso um veículo de 12 V está limitado a sete placas.

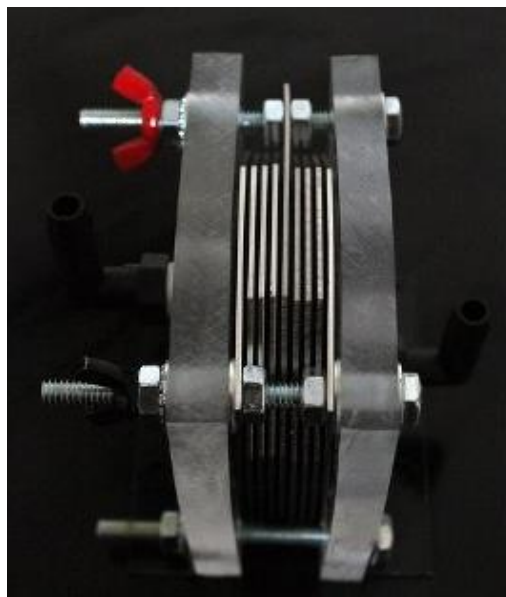


Figura 5 - Célula geradora de hidrogênio

Utilizando o motogerador, juntamente com o kit gerador de hidrogênio foi possível realizar a produção de hidrogênio, esta que é sob demanda, consequentemente será um

processo com maior nível de segurança em sua utilização e sem riscos de explosões, pois todo hidrogênio produzido será imediatamente consumido pelo motor.

O eletrólito é uma substância que ioniza (origina cargas positivas e negativas) no processo de eletrólise. Para este objeto de estudo foi adotado o NaOH (hidróxido de sódio), onde sua dissociação origina o gás HHO (gerado a partir da água) e não há decomposição do NaOH.

3.1.3 Materiais utilizados na construção do borbulhador

O borbulhador (corta-chama) foi construído através do reaproveitamento de uma embalagem plástica transparente, um metro de mangueira de polietileno de baixa intensidade 2,4mm x 4mm.

Este tem a finalidade de bloquear a chama caso venha ocorrer um retorno proveniente da admissão do motor, pois o gás entra pela mangueira que se encontra submerso em água, as bolhas de gás emergem, saem do Borbulhador e entram na admissão do motor, conforme a Figura 3-2.



Figura 6 - Borbulhador

3.1.4 Moto gerador

No desenvolvimento do experimento utilizou-se um moto gerador, marca Toyama, modelo TF1200, (Figura 3-3) e sua descrição técnica, conforme a tabela 2, fornecida pelo fabricante.



Figura 7- Motogerador, marca Toyama, modelo TF1200

Tabela 1 - Descrição técnica do Motogerador
Fonte: www.toyama.com.br

DESCRIÇÃO	Modelo
Tipo	Monocilindrico, 4 Tempos, refrigerado a ar
Motor	TF25FX
Cilindrada (cc)	87
Potência máx/Rotação (HP/rpm)	2,4 / 4.000
Vela	RN9YC
Sistema de partida	Manual retrátil
Potência máxima CA (W)	1.200
Potência nominal CA (W)	1.050
Corrente nominal CA (A)	9,5
Tensão de saída (V)	110
Tomadas	2 x 110V
Carregador de bateria CC	12V / 8,3A
Fator de potência (cos ϕ)	1
Frequência (Hz)	60
Regulador de tensão	Capacitor
Capacidade do tanque (l)	5
Autonomia na pot nominal (h)	9
Nível ruído a 7m de dist (dB)	67
Voltímetro	Sim
Indicador de nível de comb.	Não
Protetor de sobrecarga	Sim
Alerta de nível de óleo	Sim
Dimensões (C x L x A) (mm)	460 x 365 x 390
Peso bruto (kg)	30

3.1.5 Material utilizado para construir as cargas resistivas

Foram utilizadas 10 lâmpadas de 60 W cada para servir de carga ao gerador e, conforme a Figura 3-5, de modo que cada lâmpada era acionada independentemente por seu rosqueamento na base, gerando assim a carga necessária para realização de cada teste.

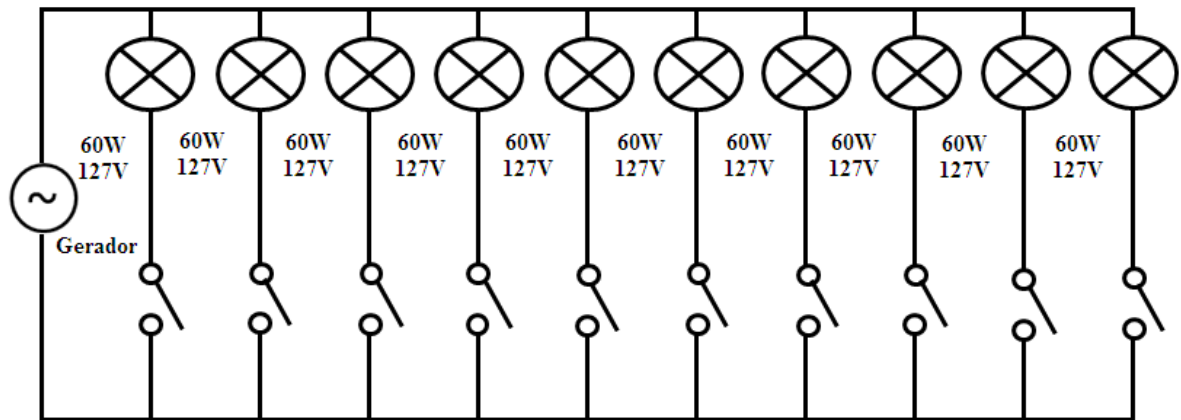


Figura 8 - Esquema elétrico das cargas resistivas

3.1.6 Utilização do PWM

O motor precisa de um fornecimento constante de gás HHO. Foi utilizado um PWM, que permite o controle da corrente destinada à eletrólise ao invés de se controlá-la pela adição ou remoção de eletrólitos. Para este objeto de estudo foi adotado o NaOH como aditivo.



Figura 9 - PWM utilizado no experimento

Para a produção do gás HHO foi necessário aplicar uma corrente elétrica de 25A para conseguir a quantidade de hidrogênio suficiente para o pleno funcionamento do motor.

3.1.7 Fonte utilizada para fornecimento de energia

Foi utilizada uma fonte retificadora de energia com entrada CA 127-220V, com chaveamento manual e com tensão de saída CC 12V com capacidade máxima de 30A.

3.2 Método de ensaio

A seguir, serão expostas as etapas para o desenvolvimento do protótipo.

3.2.1 Procedimento para eletrólise com NaOH

Para o experimento foram utilizados 100g de NaOH diluídos em 1litro de água destilada, conforme mostra figura 3-7.

Após a dissolução, foram ligados os eletrodos na fonte de alimentação para início do processo de eletrólise.



Figura 10 - Preparação da solução

3.2.2 Montagem do experimento

O experimento foi realizado com um gerador de energia elétrica acoplado em um motor à combustão, denominado de motogerador ou, grupo gerador, com algumas alterações na estrutura original. Foi preciso efetuar a retirada do giclê original cujo diâmetro do furo é de 0,6mm e substituí-lo por um giclê fabricado de resina epóxi com diâmetro do furo de 0,55mm, conforme figura 3-8. Como outra alteração, foi realizada uma adaptação no coletor. Foi instalado um bico injetor, conforme figura 3-9, por onde é inserido o HHO diretamente na válvula de admissão.



Figura 11 - Giclê adaptado



Figura 12- Coletor adaptado para injeção de HHO

3.2.3 Medição do tempo de consumo de combustível

Para medir o consumo de gasolina do motogerador foi utilizado um recipiente graduado com capacidade máxima de 20 ml, conforme pode ser observado na figura 3-10. Registrou-se o tempo para se consumir 20ml de gasolina, sendo realizadas 10 repetições para cada uma das 11 cargas. As cargas elétricas foram de 0W (vazio), 60W, 120W, 180W, 240W, 300W, 360W, 420W, 480W, 540W e 600W.



Figura 13 - Recipiente graduado utilizado nos testes

3.2.4 Montagem do coletor adaptado para injeção de HHO

Para que o gás HHO fosse admitido pelo motogerador, foi adaptado uma entrada auxiliar no coletor entre o carburador e a válvula de admissão, conforme apresentado na figura 3-11.



Figura 14 - Sistema de injeção de gás HHO

3.2.5 Carga Resistiva para simular a demanda de Energia Elétrica

Para simular a carga elétrica demandada pelo motogerador foram utilizadas 10 lâmpadas incandescentes de 60 W cada. Foram instaladas em paralelo e acionadas uma a uma por rosqueamento à medida que os testes fossem realizados, podendo-se selecionar desde o sistema funcionando sem carga (0 W) até a potência máxima de 600W.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dada à metodologia exposta foi possível se obter os seguintes resultados.

4.1 Resultados e comparativos

A seguir serão apresentados os resultados obtidos de acordo com cada teste realizado, para cada teste foi considerado o tempo de funcionamento do motor com cargas resistivas utilizando como combustíveis: gasolina (100%) e a mistura gasolina e hidrogênio.

O primeiro teste foi realizado apenas com gasolina e apresentou o tempo de funcionamento do motor mantendo as condições originais de fábrica. Os tempos obtidos podem ser observados na tabela 4-1.

Tabela 2 - Carga x Tempo - motor 100% gasolina

Carga (W)	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
Tempo (s)	174	168	165	163	162	149	140	133	122	118	112

Já para o segundo teste em que foi adotado a mistura gasolina e hidrogênio, foi necessária a realização de uma adaptação no coletor para trabalhar com HHO. Os tempos de funcionamento do motor obtidos estão na tabela 4-2.

Tabela 3 - Análise da mistura gasolina e hidrogênio

Carga (W)	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
Tempo (s)	195	188	183	179	174	170	164	158	151	144	137

Dados os resultados apresentados acima, é possível apresentar um comparativo com a autonomia do funcionamento do motor utilizando-se 100% gasolina e com a mistura de gasolina (20ml) e hidrogênio á uma corrente de 25A, conforme figura 4-3.

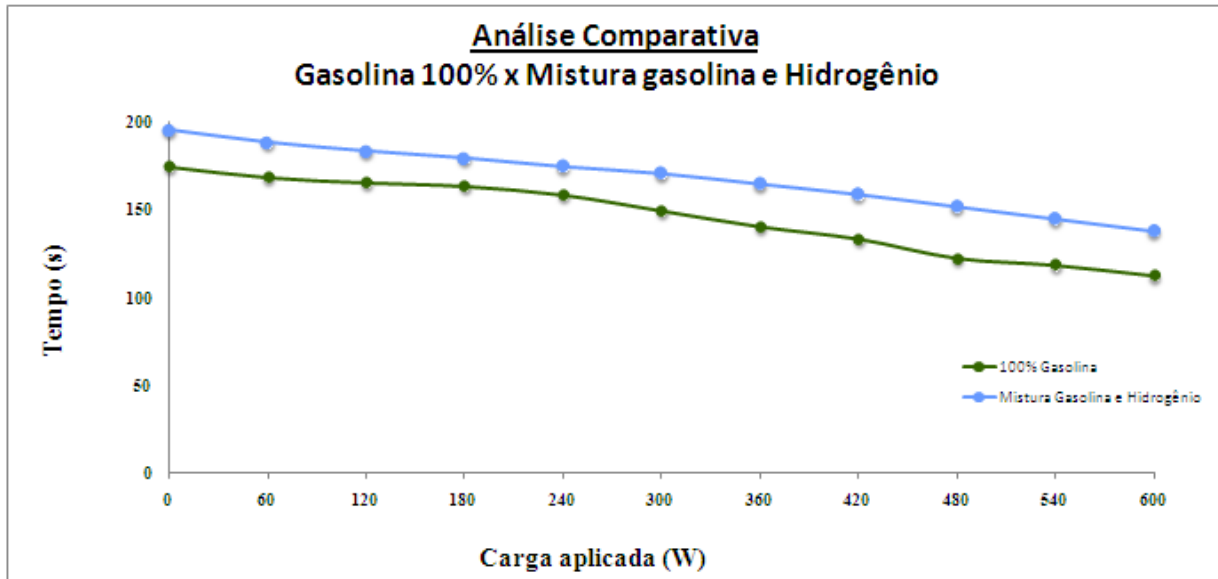


Figura 15 - Análise comparativa

4.2 Análise com giclê adaptado

Para finalizar os testes, foi adotada a utilização do giclê com diâmetro de furo menor que o original de fábrica (0,6 mm).

Nestas condições foi provado o funcionamento do motogerador, com uma carga de até 60W, utilizando-se de uma mistura de gasolina e hidrogênio. Em que este último consegue compensar a falta de gasolina devido ao giclê de menor diâmetro de vazão. Porém, com o aumento da demanda no gerador de energia elétrica há uma necessidade maior dos combustíveis no motor. Como, a célula de hidrogênio em teste não supre a demanda exigida para a ligação de todas as cargas, o motor falha não transmitindo potência suficiente para o gerador.

Tabela 4 - Percentual análise gasolina (100%) e mistura gasolina e hidrogênio

Carga (W)	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
Percentual (%)	89	89	90	91	91	88	85	84	81	82	82

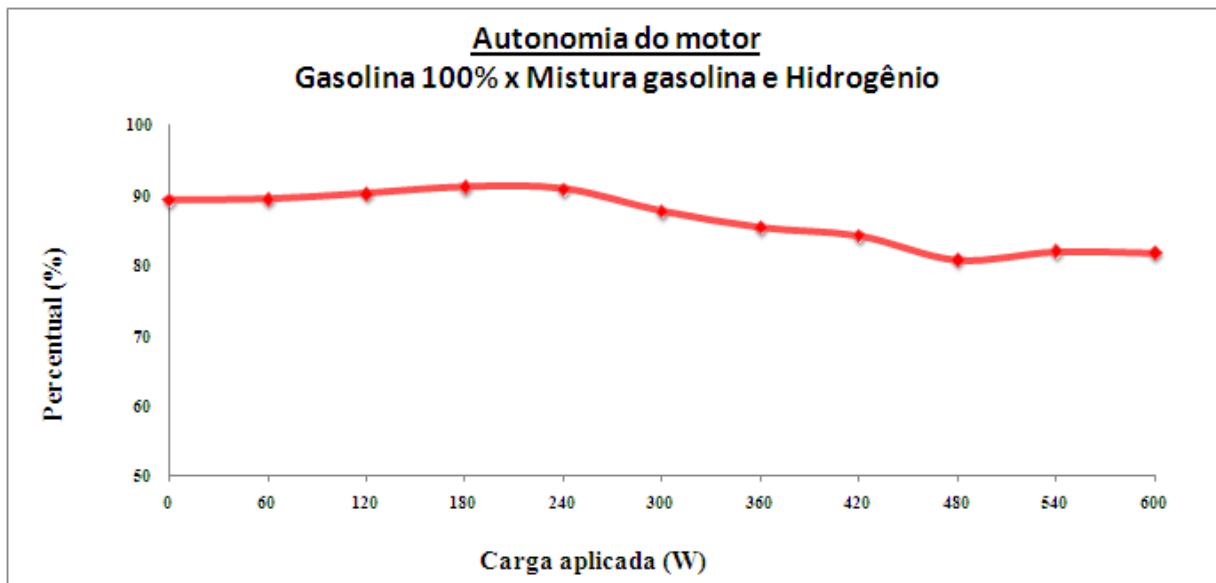


Figura 16 - Autonomia do motor

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliado o funcionamento de um motor ciclo Otto alimentado pela mistura gasolina e HHO.

Verificaram-se neste trabalho os efeitos do gás HHO ao ser injetado em um motogerador com câmara de combustão com capacidade volumétrica de 89cm^3 . O gás foi gerado através de uma célula de hidrogênio e inserido diretamente na válvula de admissão com a ajuda de uma adaptação no coletor. Os gases expelidos não foram quantificados.

Houve um aumento da eficiência da combustão, porém houve batimento de válvulas devido à velocidade de expansão na câmara de combustão ser mais veloz.

Conclui-se que, houve uma melhora de 18% na autonomia do motor com utilização de todas as cargas resistivas, totalizando 600W e com apenas a injeção de hidrogênio pelo coletor e o giclê original. Já com o giclê adaptado e a injeção de HHO no coletor, foi possível provar que o motor funciona com o hidrogênio compensando a restrição de entrada da gasolina. Quando aplicado carga ao gerador e o motor nas condições descritas acima, observou-se que a célula de hidrogênio em estudo não consegue fornecer hidrogênio necessário para suprir a demanda do motor.

Foi verificado que após todas as adaptações serem realizadas o motor não funciona mais sem a adição de hidrogênio, provando assim que o motor estava realmente funcionando devido à injeção do mesmo.

Sugere-se uma célula de hidrogênio mais eficiente e com maior capacidade de produção de HHO para alimentar o motor.

Além disso, alterações no avanço do centelhamento da câmara de combustão, ajustes nas válvulas para compensar a octanagem dos combustíveis utilizados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TOYAMA (Pr - Brasil). Moto-gerador: manual do produto. Disponível em: <http://www.toyama.com.br/produtos_det.asp?cod_categoria=2&cod_linha=8&cod_sublinha=7&cod_produto=83>. Acesso em: 20 nov. 2014.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari De. Aproveitamento de Energia Hidroelétrica Secundaria para a Produção de Hidrogênio Eletrolítico. 1998. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação de Planejamento de Sistemas Energéticos, Departamento de Engenharia Térmica e Fluidos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SIERENS R, ROSSEEL E. Sequential injection of gas e ous fuels. In: proceedings of the 5th internation al congress: the European automotive industry meets the challenge soft he year 2000; 1995 June 21 e 23. Strasbourg: EAEC Congress; 1995. p. SAI 9506A03.

VALENTE, OSMANO Souza. Desempenho e emissões de um motor- gerador de energia elétrica operando com biodiesel. 2007. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte, 2007.

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.

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

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.

SOUZA, RODRIGO G.; SILVA, FABIO M.; BASTOS, ADRIANO C.. SOUZA, R. G. ET al. 90 desempenho de um conjunto moto gerador adaptado a biogás. Ciências Agro técnicas, Lavras/MG, p. 190-195. 2010.

CONELHEIRO, L. T. P; ARQUIMEDES, L.. Desenvolvimento de um sistema gerador de hidrogênio gasoso para utilização como combustível alternativo em veículos automotores. Outubro de 2012. Anal Eletrônico (Engenharia Mecatrônica). VI Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica. Centro Universitário de Maringá.

POMILIO, J. A.. Uma breve história da eletricidade industrial e da eletrônica de potência. 2012. Seminário (Engenharia Elétrica e Computação). Unicamp, Campinas, Julho de 2012. Disponível em: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/>