

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

José Francisco Ruzene Junior

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA H₂ COM SUPORTE
DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA, PARA
APLICAÇÃO EM MOTOR À COMBUSTÃO AP 1.8, EM UM
PROJETO CEPROM**

Taubaté – SP

2017

José Francisco Ruzene Junior

DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA H₂ COM SUPORTE
DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA, PARA
APLICAÇÃO EM MOTOR À COMBUSTÃO AP 1.8, EM UM
PROJETO CEPROM

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Profa. Maria Regina Hidalgo de
Oliveira Lindgren

Coorientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

| | |
|-------|---|
| R987d | <p>Ruzene Junior, José Francisco</p> <p>Desenvolvimento de uma célula H2 com suporte da tecnologia de manufatura aditiva, para aplicação em motor à combustão AP 1.8, em um projeto CEPROM 37. / José Francisco Ruzene Junior. - 2017.</p> <p>37f. : il; 30 cm.</p> <p>Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017</p> <p>Orientação: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren;</p> <p>Coorientação: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.</p> <p>1. AP 1.8. 2. Célula H2. 3. Manufatura aditiva. 4. Motor à combustão. I. Título.</p> |
|-------|---|

José Francisco Ruzene Jr

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA H2 COM SUPORTE DA
TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA, PARA APLICAÇÃO EM
MOTOR À COMBUSTÃO AP 1.8, EM UM PROJETO CEPROM.**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento
de Engenharia Mecânica da Universidade
de Taubaté.

Data: 27/10/2017

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

Dedico este trabalho a meus pais e professores orientadores, que sempre acreditaram em meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela força e saúde que me deu para seguir em frente e nunca desistir.

à UNITAU, pela oportunidade de realizar esse curso, possibilitando mais esse degrau na minha formação.

À minha orientadora, professora Mestre Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren e a meu coorientador professor Mestre Paulo Cesar Corrêa Lindgren.

À minha família pela fé e confiança a mim depositada. Obrigado pelo apoio e incentivo em todas as minhas decisões, e por ser um exemplo a ser seguido.

Agradeço aos meus amigos por me auxiliarem com ensinamentos que me enriqueceram como ser humano.

E a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Tendo por objetivo o estímulo do uso de tecnologias “green”, sustentáveis e menos poluentes, este trabalho se propõe a desenvolver um protótipo de célula de hidrogênio, que tenha como objetivo a redução significativa da emissão de poluentes e o consumo de combustível, com componentes fabricados através do auxílio de manufatura aditiva, aplicada a um motor à combustão interna, do ciclo Otto, como os da classe do AP 1.8., fazendo com que esta tecnologia possa atender a qualquer demanda, uma vez que sua produção e construção será de maneira otimizada.

Palavras-chave: AP 1.8, célula H₂, manufatura aditiva, motor à combustão.

ABSTRACT

The objective of this work is to propose a hydrogen cell prototype, which aims at a significant reduction of the emission of pollutants and fuel consumption, with manufactured components through the additive manufacturing aid applied to an internal combustion engine of the Otto cycle, such as those in the AP 1.8 class, making this technology meet any need, since its production and construction will be optimized.

Keywords: AP 1.8, H₂ cell, additive manufacture, combustion engine.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Tipos de célula a combustível e principais características..... | 28 |
| Tabela 2 – Valores de matéria e energia..... | 31 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Motor de Lenoir de 1860..... | 14 |
| Figura 2 - Motor de Nicolaus Otto e Eugen Langen de 1867..... | 15 |
| Figura 3 – Veículo movido a gasolina..... | 18 |
| Figura 4 – Representação esquemática da geração de H ₂ Eletrólise..... | 27 |
| Figura 5 – Célula de combustível de membrana de troca de prótons..... | 29 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------------------|---|
| CHP | <i>Combined Heat And Power</i> (Ciclo de calor combinado) |
| FCV | Veículos a célula combustível |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| H ₂ | Hidrogênio |
| IDC | Consultoria de inteligência de mercado |
| NASA | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) |
| O ₂ | Oxigênio |
| PEM ¹ | Célula de combustível de membrana eletrólito |
| PEM ² | Engenharia de Produção de Componentes de Mobilidade Elétrica |
| PEMFC | Célula de combustível de Membrana de troca Protônica |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1. OBJETIVOS | 11 |
| 1.1.1. Objetivo Geral..... | 11 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos | 11 |
| 1.2. Delimitações do estudo | 12 |
| 1.3. Relevâncias do estudo..... | 12 |
| 1.4. Organização do trabalho | 12 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 13 |
| 2.1. Motores a combustão interna. Histórico e principais características | 13 |
| 2.2. Fontes alternativas para motores à combustão interna | 19 |
| 2.2.1. O hidrogênio como fonte alternativa de energia..... | 20 |
| 2.3. Células de hidrogênio. Histórico e principais características..... | 21 |
| 2.3.1. Principais tipos de células de hidrogênio para uso automotivo | 22 |
| 2.4. A manufatura aditiva aplicada a componentes automobilísticos | 23 |
| 2.4.1. A indústria automobilística brasileira e o uso de manufatura aditiva | 24 |
| 3. METODOLOGIA | 24 |
| 4. RESULTADOS..... | 27 |
| 5. DISCUSSÃO | 28 |
| 6. CONCLUSÕES | 31 |
| REFERÊNCIAS..... | 33 |

1. INTRODUÇÃO

O conceito de um novo equipamento energético chamado Célula a Combustível começa a despertar um interesse cada vez maior na população. Este conceito vem sempre associado à crescente preocupação de preservação ambiental, a automóveis com menor emissão de poluentes e à geração distribuída de energia com maior eficiência. Considerando-se que as fontes fósseis são finitas e, portanto, os preços aumentam gradativa e seguramente, que seu consumo é ineficiente sob o ponto de vista energético e a localização de suas reservas geram conflitos políticos e por fim, mas não menos importante, que a queima destes combustíveis gera emissões nocivas ao meio ambiente (exceto a nuclear). Pode-se sonhar com uma “Economia do Hidrogênio”, por o mesmo ser o elemento mais abundante no planeta e projetando-se para a década de 2080 que 90% da energia provirá do hidrogênio, tornando o desenvolvimento de uma célula de hidrogênio e sua aplicação em motores à combustão interna, do ciclo Otto, como os da classe do AP 1.8, um assunto de extrema importância e através da manufatura aditiva, tornar o processo de construção rápido e flexível.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo de célula de hidrogênio com componentes fabricados através do auxílio de manufatura aditiva aplicada a um motor à combustão interna, do ciclo Otto, como os da classe do AP 1.8.

1.1.2. Objetivos Específicos

Tendo como objetivo o estímulo do uso de tecnologias “green”, sustentáveis e menos poluentes, buscou-se o desenvolvimento de um protótipo de célula de hidrogênio com componentes fabricados através do auxílio da impressão 3D (manufatura aditiva), para a aplicação em um motor à combustão interna, do ciclo Otto, como os da classe do AP 1.8.

1.2. DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Este trabalho tem como delimitação o estudo de caso da aplicação da célula de hidrogênio desenvolvida através do auxílio de manufatura aditiva, não contemplando o uso da célula em quaisquer outras aplicações.

1.3. RELEVÂNCIAS DO ESTUDO

O crescente aumento do uso de combustíveis está diretamente ligado ao aumento da poluição, problema que vem afetando principalmente as grandes cidades. Desta maneira, o desenvolvimento das tecnologias “green” é de total importância nos dias atuais prometendo não só a redução da poluição, como também a redução do uso de combustíveis e conseqüentemente, a redução de gastos. Assim, com o auxílio da manufatura aditiva a otimização da implantação desta nova tecnologia é garantido, assim como o baixo custo, de forma a atender o maior número de pessoas possíveis.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos, sendo que no capítulo um encontra-se a Introdução, Objetivos, Delimitação e Relevância do estudo realizado.

No segundo capítulo, denominado de Revisão Bibliográfica, é retratado num contexto geral quais são as fontes de energias alternativas disponíveis com foco principal na biomassa gerada a partir da casca de arroz, a matriz energética brasileira, o uso de energias renováveis na indústria, a importância e tecnologias da cogeração de energia.

No capítulo três tem-se a Metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho.

No quarto, quinto e sexto capítulos são abordados os Resultados, a Discussão e a Conclusão do trabalho, respectivamente, seguidos das necessárias Referências.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA. HISTÓRICO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.

Os primeiros relatos sobre as tentativas de desenvolvimento de um motor ocorreram na segunda metade do século XVII, onde se fazia o uso da pólvora para movimentar um pistão dentro de um cilindro, pensamento idealizado por Christian Huygens. Documentos históricos datados de 1508 demonstram que Leonardo da Vinci propunha a elevação de peso por meio de fogo, pensamento utilizado na evolução do motor, onde Denis Papin propôs o funcionamento da máquina a vapor com pistão, assim, proporcionando a Revolução Industrial da segunda metade do século XVIII (TILLMANN, 2013).

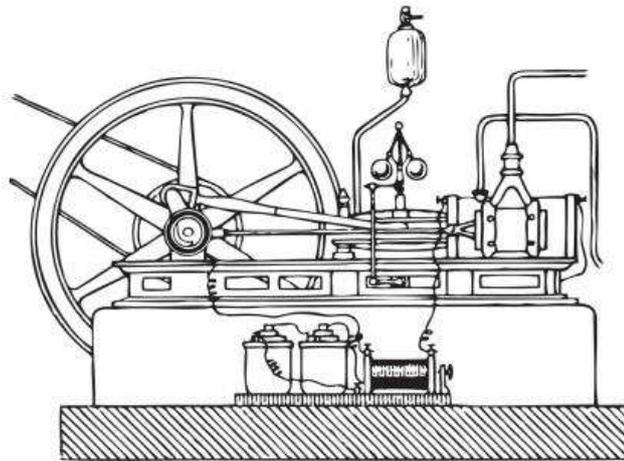
Alguns outros motores a ar que operavam por combustão externa, onde o combustível era queimado fora dos cilindros foram desenvolvidos, destacando-se os motores de Robert Stirling elaborado no ano de 1816 e o modelo de John Ericson de 1826. Ambos os motores apresentavam um melhor rendimento por operarem com pressões superiores aos motores a vapor (TILLMANN, 2013).

Em 1794, Robert Steet obteve a patente de um motor de combustão interna que consistia em dois cilindros horizontais, sendo que o cilindro bomba produzia a energia que seria utilizada para a movimentação do cilindro de potência. Esses cilindros ligavam-se por meio de uma transmissão por corrente, constituída por um eixo de manivelas munido de um diferencial. Por meio do acionamento de uma chave de partida, dava-se o funcionamento do cilindro bomba que por sua vez acionava o cilindro de potência. Este teria sido o primeiro motor a combustão interna no qual o combustível líquido seria colocado diretamente no cilindro, no entanto o inventor não construiu o motor proposto (TILLMANN, 2013).

Porém, foi em 1852, que o alemão Jean Joseph Etienne Lenoir, partindo dos princípios de W. Cecil – que em 1821 desenvolveu um motor de combustão que trabalhava com a mistura de ar e hidrogênio- começou a trabalhar no projeto de construção de um motor e em 1860 patenteou o primeiro motor a combustão interna, onde a combustão acontecia dos dois lados do pistão e o controle de entrada e saída dos gases acontecia por meio de válvulas de admissão e exaustão (Figura 1), seu funcionamento permitia que o gás e o ar fossem introduzidos no pistão durante a primeira metade do seu deslocamento. Essa carga era então queimada mediante

uma faísca, a pressão aumentava e assim os gases da combustão empurravam o pistão até o fim do curso. Na segunda batida do pistão, os gases de exaustão eram expelidos, enquanto uma nova combustão acontecia do outro lado do pistão. O ciclo era completado somente após nova batida do pistão, na fase de exaustão. 5000 desses motores foram construídos entre 1860 e 1865, com uma potência de até 6hp. O maior valor obtido pela eficiência foi próximo a 5%. (VARELLA; TILLMANN,2013).

Figura 1 - Motor de Lenoir de 1860.



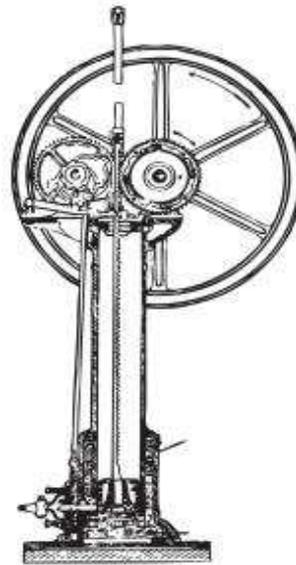
Fonte: Nebra S.A; 2003.

Este acontecimento provocou um rápido desenvolvimento mecânico e se destacou das máquinas a vapor por sua versatilidade, eficiência, menor peso por cavalo vapor, funcionamento inicial rápido e possibilidade de adaptação a diversos tipos de máquinas. A partir desse motor começou a pensar na possibilidade de transformar o movimento retilíneo em movimento de rotação e em 1863 construiu um triciclo com motor a gás de hulha ou óleo leve (xisto ou alcatrão) vaporizado em carburador e notou a importância de um mecanismo de ignição para o início do funcionamento dos motores de combustão interna, devido às dificuldades encontradas para colocar seu motor em funcionamento. O processo se dava com o gás sendo comprimido no interior de um cilindro, em seguida dava-se a terceira combustão por intermédio de uma faísca elétrica. Nesse motor não havia a mistura do combustível com o ar, sendo que somente o combustível (o gás hulha) era comprimido no cilindro. Lenoir não foi capaz de compreender a importância da mistura do combustível com o ar no processo da combustão para o aumento da produção de calor devido ao aumento da quantidade de oxigênio. Com o triciclo viajou por toda a Europa, chegando a ganhar o grande prêmio Argenteuil (corrida

automobilística Paris – Joinville-leponte). Apesar do sucesso que obteve com o triciclo não chegou a ser comercializado (TILLMANN, 2013).

Em 1861, Nicolaus Otto e Eugen Langen, baseando-se na máquina de Leonir, construíram um motor que tinha características bem melhores de desempenho (Figura 2), porém foi apresentado pela primeira vez na Exposição Industrial de Paris, em 1867. Seu conceito era o de “pistão livre”, a expansão dos gases da combustão impulsionava o pistão verticalmente para cima e quando o pistão descia, pela ação da gravidade, acionava uma catraca, que por sua vez acionava um eixo impulsionado pela explosão dos gases no cilindro. Neste caso, também não havia compressão dos gases antes da combustão, e sua eficiência correspondia a 11%. (UFPEL, 2013).

Figura 2: Motor de Nicolaus Otto e Eugen Langen de 1867.



Fonte: Nebra S.A; 2003.

Baseando-se neste princípio, anteriormente, em 1862, o engenheiro francês Alphonse Beau de Rochas já havia desenvolvido e patenteado um motor de quarto tempos, que apresentava um excelente desempenho por possuir uma menor relação superfície/volume para o cilindro do pistão, assim como um processo de expansão mais veloz (ambos os aspectos visavam reduzir as perdas de calor ao mínimo possível, conservando a energia nos gases de combustão) e ter uma pressão máxima no começo do processo de expansão dos gases dentro do cilindro, assim

como uma máxima expansão (aspectos que visavam obter o máximo de potência possível) (VARELLA; TILLMANN, 2013).

Beau de Rochas, também indicou o método de operação desejável num motor de combustão interna, o qual é utilizado até os dias de hoje, de acordo com as seguintes fases:

- a) Admissão durante o deslocamento do pistão “para fora”.
- b) Compressão durante o movimento do pistão “para dentro”.
- c) Ignição da carga de combustível + ar no ponto morto superior do pistão, seguida por expansão durante o deslocamento seguinte do pistão, para fora.
- d) Exaustão durante a corrida seguinte do pistão, para dentro.

Ainda segundo Varella e Tillmann, 2013, em 1876, o alemão Nicolaus Otto volta ao cenário e apresenta um motor de quatro cilindros conhecido como Otto silencioso ou de ciclo Otto. Seu funcionamento consistia no movimento do pistão de forma manual. Esse movimento resultava na compressão da mistura ar-combustível no cilindro. Feito isso, ligava-se a ignição e ocorria a explosão seguida de rápidas rotações no volante do motor, desta forma concluiu que:

1. Admita o combustível no primeiro movimento, onde ocorre o recuo do pistão;

2. Comprima o combustível no segundo movimento;

3. No terceiro movimento, a expansão (combustão), cria a força útil.

4. No quarto movimento (volta do pistão) ocorre a descarga: liberação e expulsão dos resíduos da combustão.

Este se tornou um motor bem mais compacto e leve, com aproximadamente 1/3 do peso do anterior e, uma eficiência próxima a 14%. Até 1890 tinham sido construídos 50.000 motores desse tipo na Europa e nos Estados Unidos. As características básicas dele são as mesmas encontradas nos motores de hoje. (VARELLA; TILLMANN, 2013).

Em 1892, o engenheiro alemão Rudolf Diesel registrou a patente do motor que leva seu nome até hoje, com ignição por compressão, onde não existia centelha elétrica para inflamar a mistura. A característica fundamental desse motor é que o combustível é injetado dentro de uma câmara de combustão que já contém o ar aquecido e pressurizado. A combustão da mistura se produz pela compressão (combustão espontânea) devido às condições combinadas de pressão e temperatura elevadas, e não por uma centelha, como ocorre no caso dos motores do ciclo Otto. Os motores Diesel apresentavam excelente rendimento, embora necessitassem de um complexo sistema de injeção em alta pressão de combustível, problema que só foi resolvido eficientemente por Robert Bosch na década de 1920. (TILLMANN, 2013).

2.2. Fontes alternativas para motores à combustão interna.

Segundo Lopes; Furlani; Silva (2003), mesmo decorridos mais de 100 anos, da invenção do motor de combustão, o seu desenvolvimento continua em ritmo crescente. Entre os anos 1920 e 1960 desenvolveu-se um rendimento dessa tecnologia semelhante à que ocorreu nos últimos cinco anos e também um importante desenvolvimento que ocorreu no campo da emissão de poluentes, onde os motores atuais, graças ao controle eletrônico e a outros dispositivos emitem cem vezes menos poluentes do que há três décadas.

Os combustíveis sempre tiveram maior impacto no desenvolvimento dos motores de combustão interna. Antes de 1905, embora as taxas de compressão fossem baixas (4:1 ou menores que essa relação), para evitar problemas de detonação, o combustível muito volátil proporcionava fácil partida e bom desempenho em climas frios (LOPES; FURLANI; SILVA, 2003).

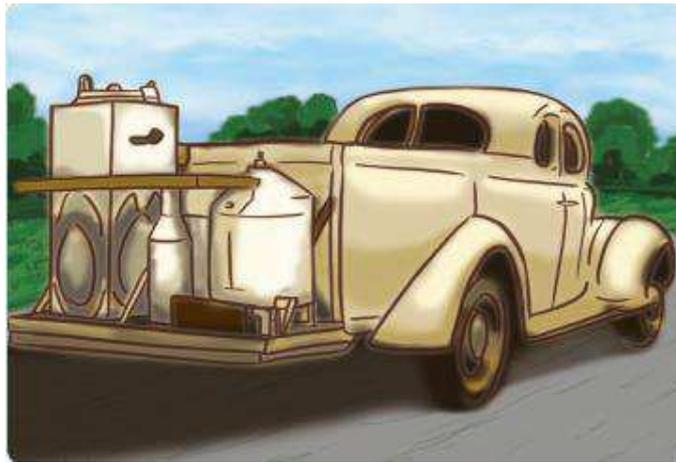
Para suprir a grande demanda por combustível, entre 1907 e 1915, novos processos de refino de petróleo foram realizados, produzindo-se gasolina com alto ponto de fulgor, o que causava problemas no desempenho em climas frios. Porém em 1912, os motores de partida elétrica surgiram., erradicando este problema (LOPES; FURLANI; SILVA, 2003).

Após a 1ª Guerra Mundial, houve um grande avanço na produção de combustíveis. A General Motors descobriu o efeito antidetonante do Pbtetraetil e em

1923, tornou-se disponível como aditivo. Além disso, o processo de refino também produzia gasolina de melhor qualidade (LOPES; FURLANI; SILVA, 2003).

Durante a 2ª Guerra Mundial, devido à dificuldade de se obterem combustíveis derivados do petróleo, popularizaram-se os pequenos gaseificadores móveis chamados de gasogênios (Figura 3) (TILLMANN, 2013).

Figura 3: Veículo movido a gasolina.



Fonte: Muraro, 2006.

No mundo, chegaram a ser usados aproximadamente 1 (um) milhão de veículos no final da 2ª Guerra Mundial. No Brasil cerca de 20 mil veículos usaram os gasogênios. Esses veículos utilizavam pedaços de madeira, carvão e turfa como combustível (SILVA; RUGGERO, 2003; TILLMANN, 2013).

Entretanto, para que o gasogênio fosse usado, era necessário um equipamento acoplado na traseira dos veículos, ou seja, era preciso adaptar o automóvel para o uso desse combustível. O motor específico para gasogênio funciona com os gases (nitrogênio, hidrogênio, monóxido de carbono, metano), que são obtidos através da queima da biomassa (SILVA; RUGGERO, 2003; TILLMANN, 2013).

O gasogênio pode ser obtido pelo processo destinado a produzir coque (carvão vegetal), onde a parte volátil do carbono é liberada com o aquecimento dos hidrocarbonetos mais pesados, obtendo assim um gás que contém H₂ e CH₄ (SILVA; RUGGERO, 2003; TILLMANN, 2013).

O gasogênio foi usado até que a guerra e os racionamentos terminassem, nos dias atuais já é extinto por apresentar inconvenientes, tais como baixo poder

calorífico e alta porcentagem de poluição, além do que, para ser produzido são necessários equipamentos de grande porte que não seriam bem aceitos nos dias atuais (SOUZA, 2017).

Além do gasogênio, outra fonte alternativa para motores de combustão interna é o etanol, que é usado principalmente em motores de ignição por centelha (ciclo Otto), que utilizam a vela de ignição para lançar uma faísca elétrica que queima o combustível, gerando energia para o veículo se movimentar (SOUZA, 2017).

O etanol vem sendo utilizado como combustível desde 1938, quando por decreto presidencial tornou-se obrigatório a mistura de álcool anidro à gasolina, atualmente estipulada em 20%. Como álcool puro (etanol hidratado), o combustível está no mercado desde 1979, quando foi lançado o primeiro carro a álcool, o Fiat 147. Até hoje, o Brasil é único país que utiliza etanol hidratado puro como combustível, porém o grande marco que consolidou o etanol foi o Próálcool, programa lançado em 1975 que estimulou a produção de álcool no Brasil para livrar o país da dependência do petróleo (NOVACANA, 2017).

O Próálcool teve grandes resultados, acarretando que, durante parte da década de 1980, mais de 70% da frota nacional de automóveis fossem movidas a álcool hidratado. Porém, com a redução do preço do petróleo, no fim dos anos 1980, o Próálcool perdeu força, e a utilização da gasolina predominou no decorrer dos anos 1990. O etanol só ressurgiu em meados dos anos 2000, com o lançamento dos bicomcombustíveis no mercado brasileiro, iniciado com o modelo VW Gol 1.6 Total Flex, em 2003. Veículos “Total Flex” possuem motor que aceitam qualquer proporção de etanol ou gasolina sem nenhum prejuízo em sua durabilidade. Atualmente, estima-se que 85% dos automóveis em circulação no país sejam “Total Flex” (NOVACANA, 2017).

Outro uso bem recente do etanol como combustível em motores de ciclo Otto vem ocorrendo em motocicletas. Em 2009, foi lançada exclusivamente no Brasil a primeira linha de motos com motor bicomcombustível do mundo: a Honda CG150 Titan Mix (NOVACANA, 2017).

Ainda segundo o site NOVACANA, 2017, as primeiras experiências com motos movidas a álcool no Brasil ocorreram no começo da década de 1980, com o lançamento da Honda CG150 a álcool em 1981 e da Yamaha RX125 a álcool 125 em 1982. Ambas, porém, deixaram de ser fabricados poucos anos depois.

Outra fonte alternativa que também merece destaque são os óleos vegetais, que são biocombustíveis derivados de biomassa renovável e podem ser usados em motores a combustão interna com ignição por compressão ou para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil. Desse modo, o biodiesel é um combustível biodegradável e derivado de fontes renováveis, com significativo potencial de contribuição para a melhoria dos parâmetros associados à qualidade ambiental. Sua utilização como combustível apresenta várias características positivas em relação às exigências do Protocolo de Quioto e às emissões de gases de efeito estufa (GEE). Além dos benefícios ambientais, a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira possibilita a criação de novos mercados associados à sua cadeia de produção, agrega valor a matérias-primas, gera empregos e reduz as importações de óleo cru e óleo diesel refinado, entre outros impactos positivos. Inúmeras espécies vegetais podem servir como matérias-primas para a produção de biodiesel. No Brasil, destacam-se a soja, o dendê, o girassol, o babaçu, o amendoim, o pinhão manso e a mamona. Em todos os casos, vários processos físico-químicos devem ser utilizados nessa produção. (PROJETO DE LEI DO SENADO Nº 356, 2009)

2.2.1. O hidrogênio como fonte alternativa de energia.

O hidrogênio na terra está quase completamente na forma de compostos, correspondendo à aproximadamente 70% da superfície do planeta. O mesmo foi identificado pela primeira vez pelo cientista britânico Henry Cavendish em 1776, sendo denominado de “ar inflamável”, no qual, em sua utilização energética, cada 1,0 kg de hidrogênio corresponde à energia de 2,75 kg de gasolina. Entretanto, devido à sua massa específica ($0,0899 \text{ kgm}^{-3}$ a 0°C e 1 atm), a energia de um litro de hidrogênio equivale à energia de 0,27 litro de gasolina (RIFKIN, 2003; HOFFMANN, 2005; LINARDI, 2008).

O hidrogênio pode ser obtido por meio 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, seguida de purificação), como: etanol, lixo, rejeitos da agricultura, etc. As fontes de hidrogênio mais viáveis economicamente são, entretanto, os combustíveis fósseis (via reforma catalítica ou

gaseificação, seguida de purificação), como: petróleo, carvão e gás natural. Esta flexibilidade em relação à sua obtenção permite que cada país escolha a melhor maneira de produzir o hidrogênio, segundo suas próprias disponibilidades. Assim, para citar alguns exemplos, a Rússia tem a opção de hidrogênio de origem nuclear, a Argentina, por sua vez, optou pelo hidrogênio de origem eólica e o Brasil direcionou-se para a produção de hidrogênio a partir do bioetanol (RIFKIN, 2003; HOFFMANN, 2005; LINARDI, 2008).

Atualmente, as aplicações não energéticas do hidrogênio correspondem a 50%, o refino do petróleo, 40% e aplicações energéticas, 10% (WINTER 2000). Portanto, a utilização energética do hidrogênio não é uma novidade. Quando se ouve falar em hidrogênio vem à mente, de imediato, a ideia de uma fonte renovável e limpa de energia. Entretanto, não é bem assim. Esta ideia somente é verdadeira se o hidrogênio for obtido de fonte renovável e, neste caso tem-se o chamado “*green hydrogen*”. Se a fonte é fóssil, tem-se o chamado “*black hydrogen*”, que é produzido com emissões nocivas ao meio ambiente. Portanto deve-se ter muito cuidado com conclusões precipitadas sobre este assunto. (RIFKIN, 2003; HOFFMANN, 2005; LINARDI, 2008).

2.3. Células de hidrogênio. Histórico e principais características.

O conceito de células a combustível existe desde 1839, quando William Grove teve uma ideia durante seus experimentos com eletrólise da água, onde imaginou como seria o processo inverso, ou seja, reagir hidrogênio (H_2) com oxigênio (O_2) para gerar eletricidade. O termo célula a combustível surgiu em 1889, criado por Ludwig Mond e Charles Langer onde tentaram construir o primeiro dispositivo prático, sem sucesso. A primeira célula a combustível bem sucedida aconteceu devido às descobertas do engenheiro Francis Bacon em 1932, mas foi no início dos anos 1960 que esta tecnologia teve um grande impulso quando a NASA necessitou de geradores de eletricidade para missões espaciais, desenvolvendo células a combustível especificamente para aplicações nos projetos espaciais Gemini e Apollo (WOLK, R.H. 1999; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. 2000; HOOGERS, G. 2003; BABIR, 2005; FRANCHI, 2009; SCHMAL, 2009).

Em meados dos anos 1960 a General Motors fez uso de uma pilha de células a combustível em uma caminhonete. Embora esta tecnologia possuísse forte utilização em projetos espaciais, ela foi esquecida até o início dos anos 1990, onde a

empresa Perry Energy Systems, trabalhando em parceria com a companhia canadense Ballard Power Systems, demonstrou com sucesso, uma célula de combustível de membrana eletrólito (PEM¹) em um submarino e em 1993, a aplicação das pilhas de célula a combustível em um ônibus e no mesmo ano a empresa Energy Partners demonstrou o primeiro carro popular movido a base de hidrogênio e oxigênio. A partir desta data até o final do século, várias outras montadoras desenvolveram carros com a mesma tecnologia (WOLK, R.H. 1999; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. 2000; HOOGERS, G. 2003; BABIR, 2005; FRANCHI, 2009; SCHMAL, 2009).

Atualmente as aplicações de células a combustível vão além e são utilizadas como geradores em distribuição de energia em instalações de grande porte, devido a menor emissão de poluentes, maior eficiência, instalações modulares e baixo nível de ruído. (WOLK, R.H. 1999; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. 2000; HOOGERS, G. 2003; BABIR, 2005; FRANCHI, 2009; SCHMAL, 2009).

2.3.1. Principais tipos de células de hidrogênio para uso automotivo.

Os veículos a célula combustível (FCV) a hidrogênio possuem emissão zero de poluentes. Tem como vantagens sobre os veículos elétricos convencionais, a não necessidade de recarga de bateria, acúmulo de pesos, e os inconvenientes típicos das baterias, como a demora ao carregar, entre outros (UFV; 1999).

Os combustíveis utilizados como fonte de hidrogênio para veículos são o metanol e a gasolina. Estes combustíveis para serem utilizados requerem que o veículo possua a bordo um dispositivo para extrair o hidrogênio do combustível. A emissão de poluentes quando da utilização destes combustíveis, é desprezível em relação a utilização dos mesmos nos motores de combustão interna. Os veículos são capazes de fazer 33 km com um litro de gasolina, possuem eficiência de 35 a 45%. Nos veículos a combustão interna, apenas 10% da energia potencial do combustível é convertida em trabalho útil nos centros urbanos, subindo para 20% nas rodovias. Os principais fabricantes de veículos a célula combustível são: Daimler-Benz, General Motors, Honda, Nissan, Chrysler, Hitachi, Volkswagen, Volvo, e Ford. Na Europa, um protótipo do veículo da Mercedes-Benz Class-A está funcionando a célula combustível desde 1997 com metanol. O veículo possui tanque com capacidade para 40 litros, e autonomia para 400 km (UFV; 1999).

Com o custo da célula combustível em \$3000/kW, a utilização em ônibus fica 30% mais caro que o uso do diesel. Entretanto, uma considerável redução nos custos é possível através da economia de escala na produção de hidrogênio. Esta economia fará com que o uso de célula a combustível em ônibus seja inferior ao custo com o uso do diesel (UFV, 1999).

2.4. A manufatura aditiva aplicada a componentes automobilísticos.

Flexibilidade e capacidade de impressão de geometrias complexas são duas das principais características da manufatura aditiva ou impressão 3D, que vem conquistando um espaço crescente no mercado industrial por ser uma tecnologia verde com zero produção de resíduos. Consistindo de um processo de impressão de objetos a partir da deposição de variados materiais em camadas, a cada dia ela ganha maior aplicabilidade, no setor automotivo, tanto através da criação de peças, como o de automóveis por inteiros totalmente personalizados e em um curto período de tempo.

O projeto StreetScooter, fundado em 2010, foi desenvolvido pela Engenharia de Produção de Componentes de Mobilidade Elétrica (PEM²) da Universidade de Aachen e tinha como objetivo desenvolver um carro elétrico que competisse com veículos convencionais em termos de preço, mas com desempenho, segurança e sustentabilidade realistas. e utilizou a tecnologia de impressão 3D e de manufatura aditiva da Stratasys. Com peso em torno de 450 kg (1000 lbs), excluindo baterias, o StreetScooter C16 tem autonomia mínima de 100 km (80 milhas) e velocidade máxima de 100 km/h (60 mph), sendo assim um veículo ideal para a cidade. O modelo final do veículo foi projetado para o serviço de correios da Alemanha, o *Deutsche Post AG*. (MARQUES, 2014; USINAGEM-BRASIL, 2014)

Ainda segundo Marques (2014) e usinagem-brasil (2014), o veículo de curta distância foi construído por meio do Sistema de Produção 3D Multimaterial Objet1000, projetado para grandes formatos de peças plásticas exteriores, incluindo grandes painéis frontais e traseiros e das portas, sistemas de para-choques, saias laterais, para-lamas, máscaras dos faróis e outros componentes internos, como dispositivo de retenção do painel de instrumentos, além de componentes menores. Para as peças impressas em 3D foram utilizadas o material ABS Digital rígido da

Stratasys, que permitiu à equipe de engenharia construir um protótipo de carro que apresentasse o mesmo nível de desempenho em ambientes de teste, comparado a um veículo fabricado com peças tradicionais. Durante o desenvolvimento do StreetScooter C16, o sistema de produção 3D Objet1000 foi utilizado para fazer protótipos, além de peças manufaturadas para uso final e ferramentas de produção nas etapas finais do desenvolvimento. A bandeja de construção gigante 1000 x 800 x 500 mm do sistema de produção 3D confere a capacidade de imprimir gama completa de componentes com até um metro de comprimento.

2.4.1. A indústria automobilística Brasileira e o uso de manufatura aditiva

A tecnologia das impressoras 3D, também conhecida como manufatura aditiva, já é uma realidade na indústria brasileira. Hoje as empresas fazem uso desta tecnologia para fabricar peças de alta qualidade, com efetividade muito maior, devido aos testes terem sido realizados a partir de protótipos em 3D. Outro uso importante para a ferramenta é no desenvolvimento de peças que há anos já haviam saído de linha, como em carros para colecionadores, por exemplo. Nestes casos, a impressora prepara o molde e a peça pode ser confeccionada uma a uma conforme a demanda (lwtsistemas, 2016; AVOZDAINDUSTRIA, 2017).

Um relatório da consultoria de inteligência de mercado IDC aponta para um crescimento anual de 24,1% no setor, duplicando os gastos mundiais com impressão 3D até o final da década, prenunciando um movimento de 35 bilhões de dólares em 2020 nesse segmento (lwtsistemas, 2016; <http://avozdaindustria>, 2017).

Para Anderson Soares, gerente de território da Stratasys Brasil, as empresas que adotam a tecnologia da impressão 3D podem ter uma redução média de 70% nos custos e de 60% no *lead time*.

“Hoje, com a tecnologia da manufatura aditiva e os materiais avançados que dispomos, consigo imprimir moldes para uma linha de produção de injeção plástica, por exemplo. Posso, ainda, fazer ferramentas que vão desde a linha de produção automobilística até mesmo a peças do setor aeroespacial, tendo a certificação que esses mercados requerem”, (LWTSISTEMAS, 2016; AVOZDAINDUSTRIA, 2017)

3. METODOLOGIA

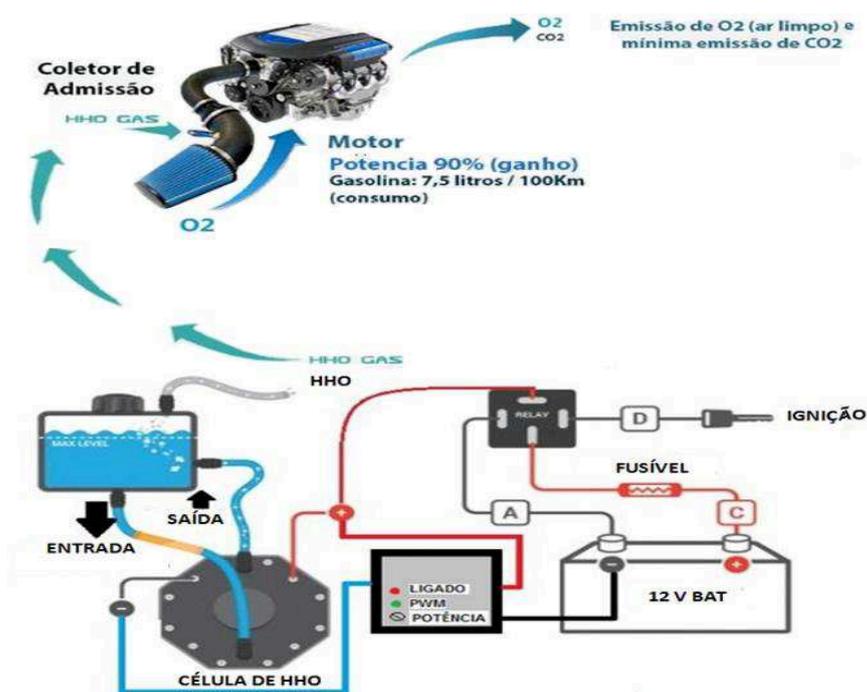
Neste trabalho foi aplicada a pesquisa do tipo exploratória bibliográfica e descritiva, as quais, conforme os autores WOLK, (1999); U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (2000); HOOGERS, (2003); BABIR, (2005); FRANCHI, (2009); SCHMAL, (2009); RIFKIN, (2003); HOFFMANN, (2005); LINARDI, (2008), possuíam intenções de utilizar o hidrogênio como uma fonte alternativa na produção de energia. Inicialmente foram estudadas as características e conceitos da produção de hidrogênio a partir de uma fonte primária. Pôde-se verificar as diferentes formas de obtenção do mesmo, desde a queima de fontes fósseis, gerando o “*black hydrogen*”, que é produzido com emissões nocivas ao meio ambiente, até o hidrogênio que é obtido de fonte renovável e, neste caso tem-se o chamado “*green hydrogen*”. A partir desta verificação, foram definidos os principais tipos de células de hidrogênio para o uso automotivo, realizados estudos com foco na redução de combustível ao ser introduzida a sonda Lambda em um automóvel com essa tecnologia, para então ser introduzido o conceito de manufatura aditiva aplicada aos componentes automobilísticos. Outra abordagem nos estudos foi relacionada à evolução da indústria automobilística no Brasil, suportando a evolução dos motores de combustão interna e os diferentes tipos de fontes alternativas para o mesmo. Quanto à tendência, o foco principal foi relacionado ao consumo de combustível alinhado com a queima nas células de H₂ e a aplicação desta tecnologia em componentes automobilísticos, com o suporte da tecnologia de manufatura aditiva, com o intuito de se otimizar o processo de fabricação, tornando-se uma tecnologia capaz de reduzir custos em geral, possibilitar uma “construção rápida” e ser acessível a todos. Buscando-se avaliar as publicações especializadas e os resultados de testes preliminares, têm-se que a redução do consumo de combustível é otimizado pelo “*input*” originado a partir da sonda Lambda, que ao detectar que uma quantidade menor de oxigênio “não-queimado” está saindo pelo escapamento, envia comando para que seja proporcionalmente reduzida a quantidade de combustível enviado à câmara de combustão. Conseqüentemente, a energia do H₂ injetado passa a suprir o déficit da quantidade de energia oriunda da queima do combustível, reduzindo a quantidade consumida deste último.

Este trabalho também se classifica na categoria de Estudo de Caso Único a fim de criar construtos teóricos e/ou proposições a partir evidências empíricas dos estudos correspondentes (EISENHARDT, 1989; EISENHARDT & GRAEBNER, 2007; PLATT, 2007; YIN, 2005). Tem-se, portanto, que o processo de construção de teoria por meio desta abordagem metodológica é o indutivo, ou seja, a teoria emerge à medida em que são reconhecidos padrões de relações entre construtos no caso e entre casos (CHIMA, 2005; 3 EISENHARDT, 1989; EISENHARDT & GRAEBNER, 2007; LEE, 2007; SIGGELKOW, 2007) configura-se como um recurso bastante adequado quando se pretende explicitar as condições de desenvolvimento de novas tecnologias e novos processos, como este estudado.

4. RESULTADOS

Avaliando-se as publicações especializadas e os resultados de testes preliminares, têm-se que a redução do consumo de combustível é otimizada pelo “input” originado a partir da sonda *Lambda*, que ao detectar que uma quantidade menor de oxigênio “não-queimado” está saindo pelo escapamento, envia comando para que seja proporcionalmente reduzida a quantidade de combustível enviado à câmara de combustão. Conseqüentemente, a energia do H₂ injetado passa a suprir a menor quantidade de energia oriunda da queima do combustível, reduzindo a quantidade consumida deste último (Figura 4). A célula de combustível presumida como mais eficiente para o motor AP 1.8 é a célula de combustível de Membrana de troca Protônica (PEMFC), (composta por componentes da célula de H₂), que operam sob temperaturas relativamente baixas e possuem alta densidade de potência, podendo variar a saída de energia rapidamente para suprir as demandas de potência, possuindo uma eficiência entorno de 55%. Toda a carcaça que recobre e protege as placas poderá ser fabricada, de forma mais econômica e de montagem mais flexível, com o uso de uma impressora 3D, em tecnologia de manufatura aditiva.

Figura 4: Representação esquemática da geração de H₂ Eletrólise.



Fonte: [http://www.queryonline.it/2013/03/20/hho-generator-ennesima-bufala-o-funziona-davvero/;](http://www.queryonline.it/2013/03/20/hho-generator-ennesima-bufala-o-funziona-davvero/)

5. DISCUSSÃO

Foram analisados diversos tipos de células a combustíveis e suas principais características, como apresentado na Tabela 1, logo abaixo:

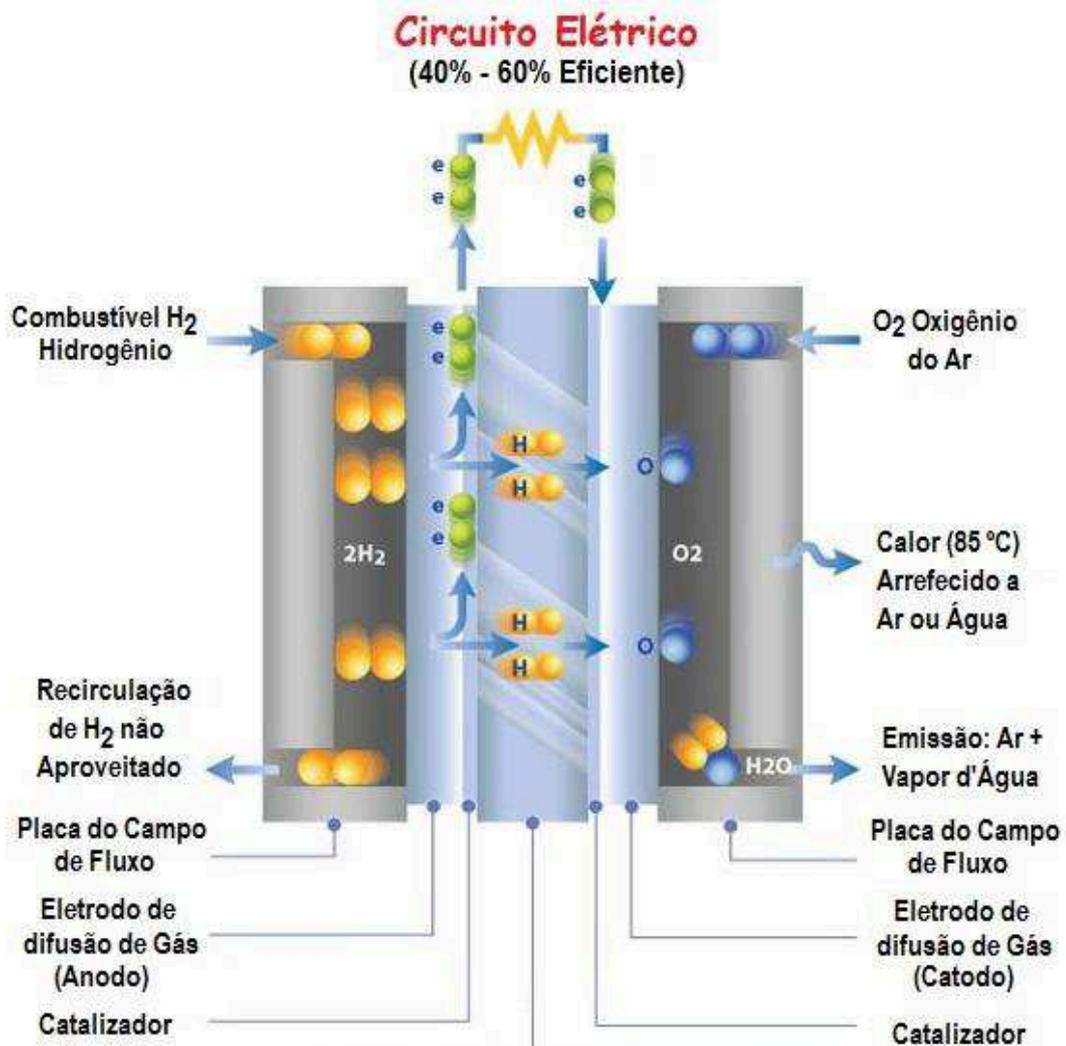
Tabela 1: Tipos de célula a combustível e principais características.

| TIPOS DE CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL | ELETRÓLITO | TRANSPORTADOR DE CARGAS | TEMPERATURA DE OPERAÇÃO (°C) | COMBUSTÍVEL | RENDIMENTO ELÉTRICO (%) |
|---|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Membrana de Polímero de Troca Protônica (PEMFC) | Polímero Sólido | H ⁺ | 60-80 | H ₂ Puro | 35-50 |
| Óxido Sólido (SOFC) | Óxido Sólido (Ítria, Zircônia) | O ₂ ⁻ | 800-1000 | H ₂ , CO, CH ₄ | >50 |
| Carbonato Fundido (MCFC) | Carbonato de Potássio e Lítio | CO ₃ ²⁻ | 600-700 | H ₂ , CO, CH ₄ | >50 |
| Ácido Fosfórico (PAFC) | Ácido Fosfórico | H ⁺ | 150-190 | H ₂ Puro | 40 |
| Alcalina (AFC) | KOH | OH ⁻ | 60-90 | H ₂ Puro | 35-55 |
| Álcool Direto (DAFC) | Polímero Sólido | H ⁺ | Ambiente-110 | Solução aquosa de álcool | 20-40 |

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, GUERREIRO 2015.

A célula escolhida foi a do tipo de Membrana de Troca de Prótons, pois além da mesma possuir baixas temperaturas de operação, também utiliza como combustível o hidrogênio puro, foco principal deste trabalho. Também vale ressaltar que em questão de consumo, o mesmo pode ser otimizado caso seja usado em ciclo de calor combinado (CHP). Seu princípio de funcionamento é bastante simples. Utiliza-se um eletrólito em forma de membrana polimérica, que permite a passagem somente dos íons positivos de hidrogênio do ânodo, os prótons que por sua vez, ao atravessarem a membrana, combinam-se com moléculas de oxigênio, no lado oposto, no cátodo, e com os elétrons provenientes de um circuito externo, formando água. Esses elétrons trafegam do ânodo até o cátodo, não pela membrana, mas por um circuito elétrico externo, do qual será aproveitada a corrente elétrica para a aplicação desejada, como na Figura 5:

Figura 5: Célula de combustível de membrana de troca de prótons.



Fonte: Marques (2004).

Para quebrar a molécula de hidrogênio (H_2) é necessária a presença de um catalisador que também tem como função acelerar a reação, principalmente a baixas temperaturas. Como a PEMFC é uma célula de baixa temperatura, operando entre 60 a $100^\circ C$ torna-se necessário um catalisador bastante eficiente, que seria a platina, utilizada nos eletrodos e no revestimento da membrana, o eletrólito. A referida célula exige um hidrogênio altamente puro, que sendo extraído através de reforma de outro combustível, como o gás natural ou o etanol, ainda deverá ser filtrado para eliminar possíveis contaminações de gás carbônico ou enxofre, que danificam o catalisador e a membrana polimérica. Para que todas essas reações ocorram, a célula deverá estar úmida o suficiente para a troca iônica, porém, não encharcada, sob pena de o hidrogênio e oxigênio não conseguirem penetrá-la, comprometendo a reação. Em locais com temperatura abaixo de zero, haveria o

risco de a água congelar, criando pequenos cristais de gelo, que rasgariam a membrana. Por esses e outros motivos, são necessários vários sistemas de controle monitorando, por exemplo, a entrada dos gases e a temperatura da água no sistema. Esse monitoramento é imprescindível não apenas na PEMFC, mas em todos os tipos de células combustíveis. Nas aplicações de transportes, essa célula tem alcançado uma vida útil em torno de 4.000 horas, o que equivale a um motor de combustão rodar mais de 170.000 km. O objetivo atual é de se chegar a uma faixa entre 5 a 8 mil horas de vida útil. Ao fim dessa vida útil, pode-se recuperar até 98% da platina empregada na célula.

Já na Tabela 2, pode-se realizar a medição dos valores de matéria e energia, entre eles o poder calorífico inferior. O poder calorífico é a quantidade de energia contida em uma determinada quantidade de combustível, logo, quanto maior for o seu poder calorífico, maior será a quantidade de energia que esse poderá proporcionar. Existe o poder calorífico superior e o poder calorífico inferior. O primeiro é a quantidade de energia liberada na forma de calor mais a quantidade de energia gasta para a formação de água no estado líquido, em casos de combustíveis que contenham hidrogênio em sua composição. Já o poder calorífico inferior é apenas a quantidade de energia liberada na forma de calor por um combustível. O poder calorífico inferior é utilizado para representar o potencial energético de um dado combustível.

Tabela 2: Valores de matéria e energia.

| | Densidade | Poder Calorífico Inferior | Quantidade de energia por massa | Quantidade de energia por volume |
|------------|-----------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Hidrogênio | 0,0899 | 28.555 Kcal/Kg | 119,56 MJ/Kg | 10,75 MJ/m ³ |
| Etanol | 0,7894 | 6.750 Kcal/Kg | 28,262 MJ/Kg | 22,31 MJ/m ³ |
| Metanol | 0,722 | 12.054 Kcal/Kg | 50,473 MJ/Kg | 38,845 MJ/m ³ |
| Gasolina | 0,742 | 10.400 Kcal/Kg | 43,544 MJ/Kg | 32,30 MJ/m ³ |

Fonte: Bezerra (2008).

6. CONCLUSÕES

Portanto, é possível concluir que a utilização das células de combustíveis a hidrogênio vem sendo cada vez mais interessante para uso da população, pois como a emissão de poluentes por meio desta tecnologia é reduzida drasticamente, tem-se um impacto ambiental muito pequeno, além de ocasionar em uma inevitável redução de gastos com combustíveis pela eficiência proporcionada. Tendo-se também em foco a otimização, facilidade e redução de gastos na produção, o uso da manufatura aditiva na impressão 3D de toda a carcaça que recobre e protege as placas caracteriza-se como ferramenta fundamental para esta tecnologia como um todo.

REFERÊNCIAS

BARBIR F., PEM¹ Fuel Cells – Theory and Practice Elsevier, Amsterdam, Holland, 2005.

FRANCHI, T. P., Utilização de Células a Combustível Tipo PEM¹ como Alternativa na Geração Auxiliar em Instalações Elétricas de Grande Porte. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-01072009-130017/pt-br.php> Acesso em: 12 de Junho de 2017

GOMES NETO, E.H., Hidrogênio. Evoluir Sem Poluir - Brasil H₂- ISBN 8590542114, 9788590542117 Edição I 2006.

HOOGERS G. Fuel Cell Technology. CRC Press. Disponível em https://books.google.com.br/books?id=03zu2zTS76gC&pg=PA265&lpg=PA265&dq=HOOGERS,+G.+2003;&source=bl&ots=zoRkb330Ob&sig=xmpkpBEf3eH_R4YRhit9BHvf0WY&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiJu8zpvYfXAhUSlpAKHU19BG0Q6AEIMTAC#v=onepage&q=HOOGERS%2C%20G.%202003%3B&f=false. Acesso em 08 de Agosto de 2017.

Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025; Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

LINARDI M., Hidrogênio e Células a Combustível e http://ecen.com/eee66/eee66p/hidrogenio_e_celulas_a_combustivel.htm Acesso em 17 de Maio 2017.

LOPES, A; FURLANI, C. E. A; SILVA, R. P. Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. Revista Brasileira de Agroinformática, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 24-31, 2003.

LWT Sistemas. Manufatura Aditiva. Disponível em: <http://www.lwtsistemas.com.br/manufatura-aditiva/page/8/>. Acesso em 05 de Junho de 2017.

MARQUES K., Manufatura aditiva: o futuro do mercado industrial de fabricação e inovação. Disponível em: http://www.eesc.usp.br/portaleesc/index.php?option=com_content&view=article&id=1934:manufatura-aditiva-o-futuro-do-mercado-industrial-de-fabricacao-e-inovacao&catid=115&Itemid=164. Acesso em 17 de Maio de 2017.

MARTINS, A.V., PEREIRA, A.G., Energia do Hidrogênio, Universidade do Contestado – UnC, Campus Canoinhas, 2015. 6.

MURARO, W. Avaliação do funcionamento de motor ICE com gás de baixo poder calorífico proveniente da gaseificação de casca de arroz. 2006, 106 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 2006.

NEBRA, S. A. Máquinas térmicas. Motores alternativos de combustão interna. FEM. UNICAMP, 2003. Disponível em: www.fem.unicamp.br/apresentação/powerpoint. Acesso em: 14 de Maio de 2017.

RIFKIN J. A Economia do Hidrogênio, M.Books, São Paulo. 2003.

RODRIGUES, R.A. Célula de hidrogênio: construção, aplicações e benefícios. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo, Número I Jan-jun 2010.

Secretaria Especial de Editoração e Publicações do Senado Federal – Brasília-DF OS: 15577/2009. Disponível em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-BtTXbsJjUAJ:legis.senado.leg.br/sdleg->

getter/documento%3Fdm%3D3520573+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br.
Acesso em 02 de Agosto de 2017.

SCHMAL M. Engenharia a partir do Hidrogênio. Disponível em:
<http://www.semanadaquimica.org/semana17/material/hidrogenio.pdf>. Acesso
em 02 de Agosto de 2017.

SILVA, M. J. M. da; RUGGERO, P. A. Efeitos da utilização da energia de
biomassa sobre o meio ambiente. UNICAMP. Campinas, 2003. Disponível em:
<<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/gaseif/gaseif.htm>> . Acesso em:
15 de Novembro de 2017.

SOUZA, Líria Alves. Combustível Hidrogênio; *Brasil Escola*. Disponível em
<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/combustivel-hidrogenio.htm>. Acesso em
15 de setembro de 2017.

SOUZA, Líria Alves. Gasogênio; *Brasil Escola*. Disponível em
<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/gasogenio.htm>. Acesso em 13 Maio de
2017.

TILLMANN, C.A.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. : il. ; 28 cm ISBN 978-85-63573-28-5

Universidade Federal de Pelotas, 2013. Disponível em:
[http://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-
Combust%C3%A3o-Interna.pdf](http://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combust%C3%A3o-Interna.pdf). Acesso em 05 de Maio de 2017
<http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/viewFile/1405/1487>. Acesso
em 13 de Maio de 2017.

VARELLA, C.A.A., Histórico e desenvolvimento dos motores de combustão interna - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em:

http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/historico_e_desenvolvimento_dos_motores.pdf. Acesso em 05 de Maio de 2017.

WENDT, H., GOTZ, M., LINARDI, M., Tecnologia de Células a Combustível. Química Nova, p. 538-546, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2655.pdf>. Acesso em 12 de Outubro de 2017.

WILLIAMS, M. C., Fuel Cell Handbook. 7 Ed., U.S. Department of Energy, Morgantown, West Virginia, 2004. Disponível em: <https://www.osti.gov/scitech/biblio/834188> . Acessado em:13 de Junho de 2017.

WILSON J. R.; BURGH G, Energizing Our Future: Rational Choices for the 21st Century, 2007.

WOLK, R.H. Fuel cells for Homes and Hospitals, IEEE Spectrum. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=9ukWHZoQ4SAC&pg=PA114&lpg=PA114&dq=WOLK,+R.H.+1999&source=bl&ots=VBqtqcJH-P&sig=IE4SyikFNIZmQnvU1VVnEUGogA4&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjB4rfxu4fXAhWFfZAKHXypD9kQ6AEIJzAA#v=onepage&q=WOLK%2C%20R.H.%201999&f=false>. Acesso em 02 de Setembro de 2017.

<http://estadodeminas.vrum.com.br/app/noticia/noticias/2015/06/10/inte51018/nova-moda-gerador-de-hidrogenio-promete-60-do-consumo-sera-verdade.shtml>. Acesso em 02 de Agosto de 2017.

<http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/unfer/materiais/Font.aula.1.pdf> biodiesel > Acesso em 13 de Maio de 2017.

<https://www.novacana.com/etanol/aplicacoes/>. Acesso em 13 de Maio de 2017
<http://www.novocell.ind.br/pt/tecnologia> > Acesso em 05 de Agosto de 2017.
<http://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/biodiesel>. Acessado em 13 de Maio 2017.