

ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ENTRE COMBUSTÍVEIS EM UM MOTOR DE CICLO OTTO

João Victor Comis Berguemaier, joao.comis@acad.ufsm.br

Juliano Pereira Silveira, juliano.p.silveira@gmail.com

Valdemir de Lima Junior, valdemir.lima@acad.ufsm.br

Guilherme Schio Negrini, guilherme.negrini@acad.ufsm.br

Mario Eduardo Santos Martins, mario@mecanica.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima n° 1000, Santa Maria – RS,

Resumo. O combustível é um dos fatores decisivos sobre o desempenho de um veículo e deve ser adequadamente avaliado para que se identifique as vantagens e desvantagens do uso de cada um deles. O presente trabalho apresenta um comparativo entre o uso de gasolina comum, gasolina premium e etanol, obtendo-se as características de cada um na operação de um motor de ignição por centelha naturalmente aspirado em plena carga a 1400 rpm. O estudo mostra as variações de torque, potência e consumo para cada combustível avaliado. De acordo com os resultados, quando operado em plena carga, o etanol apresentou uma potência indicada superior em comparação aos demais combustíveis, 7,5% superior à gasolina comum e 3% à gasolina premium. Apesar do aumento na potência, o etanol desenvolveu um maior consumo específico, chegando a ser 50% superior aos demais combustíveis. Com isso, em aplicações que requerem autonomia do veículo ou mesmo em cenários de competição, este maior consumo cria a necessidade do transporte de uma maior massa por parte do veículo. A gasolina premium, apesar de ser comercializada por um valor maior, não apresentou vantagens significativas, em termos de consumo e desempenho, em comparação à gasolina comum nas condições avaliadas.

Palavras chave: Motor de ignição por centelha, Potência, Automobilismo, Etanol, Gasolina.

Abstract. Fuel is one of the decisive factors in the performance of a vehicle and must be properly evaluated in order to identify the advantages and disadvantages of using each one of them. The present work presents a comparison between the use of regular gasoline, premium gasoline and ethanol, obtaining the characteristics of each one in the operation of a naturally aspirated spark ignition engine at full load at 1400 revolutions per minute. The study shows the variations in torque, power and consumption for each fuel evaluated. According to the results, when operated at full load, ethanol had a higher indicated power compared to other fuels, 7.5% higher than regular gasoline and 3% higher than premium gasoline. Despite the increase in potency, ethanol developed a higher specific consumption, reaching 50% higher than other fuels. Thus, in applications that require vehicle autonomy or even in competition scenarios, this higher consumption creates the need for the vehicle to transport a greater mass. Premium gasoline, despite being sold at a higher price, did not present significant advantages, in terms of consumption and performance, compared to regular gasoline under the conditions evaluated.

Keywords: Spark ignition engine, Power, Motorsport, Ethanol, Gasoline.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao contínuo aumento na demanda energética (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021b, 2021a) e a crescente preocupação com a conservação ambiental, pesquisas vêm sendo realizadas a fim de aumentar a eficiência em motores de combustão interna, bem como a redução de emissões de gases poluentes e de efeito estufa. No entanto, a divulgação científica ligada ao desempenho de veículos ainda é muito limitada (QUINTANILHA, 2018), fazendo com que seja criado um cenário onde informações não embasadas são pregadas, por conseguinte, existe a necessidade de divulgação dos estudos científicos ligados ao setor.

Ao se tratar de um veículo comercial, é necessário que o combustível utilizado no mesmo seja de fácil acesso ao consumidor, recorrendo-se à combustíveis convencionais, como gasolina comum ou premium e etanol (OLIVEIRA, 2016). Dentro destas alternativas, tem-se como objetivo a obtenção do menor consumo específico de combustível, no caso o consumo em massa de combustível por unidade de potência (HEYWOOD, 2018), o que aprimora o desempenho,

já que o veículo pode obter uma maior potência consumindo uma menor quantidade de combustível. Isso gera uma maior autonomia, fazendo com que uma menor massa de combustível possa ser transportada.

Desta forma, o presente trabalho visa apresentar uma pesquisa voltada à *performance*, criando um comparativo entre os principais combustíveis comerciais, a fim de se obter uma avaliação dos principais parâmetros de desempenho de um motor operando com Gasolina Comum, Gasolina Premium e Etanol (E97), variando a quantidade de combustível injetada, de $\lambda=1,0$ a $\lambda=0,7$, a fim de mitigar a detonação e obter a máxima potência para cada combustível, inviabilizando a avaliação das emissões, por conta da quantidade de combustível não queimada que é expelida junto dos gases da exaustão.

2. METODOLOGIA

2.1. Aparato Experimental

Para o desenvolvimento desse estudo foram realizados testes pelo Grupo de Pesquisas em Motores, Combustíveis e Emissões – GPMOT no Laboratório de Motores da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, utilizando o motor de combustão interna de pesquisas Ricardo Proteus 1200 Diesel, convertido para operação em ciclo Otto. O motor em questão foi instrumentado com sensores de temperatura termopar tipo K, sensores de pressão piezoresistivos MPX 2010, para aquisição da pressão de admissão e de exaustão, um decodificador incremental angular Dynapar B58N ligado ao eixo do virabrequim para aquisição da posição angular e um transdutor de pressão Piezoelétrico AVL GH14D instalado no cabeçote para obtenção do traço de pressão no cilindro conforme mostrado na Figura 1. A Tabela 1 apresenta a relação dos parâmetros medidos, dos sensores utilizados e da incerteza de medição de cada um deles.

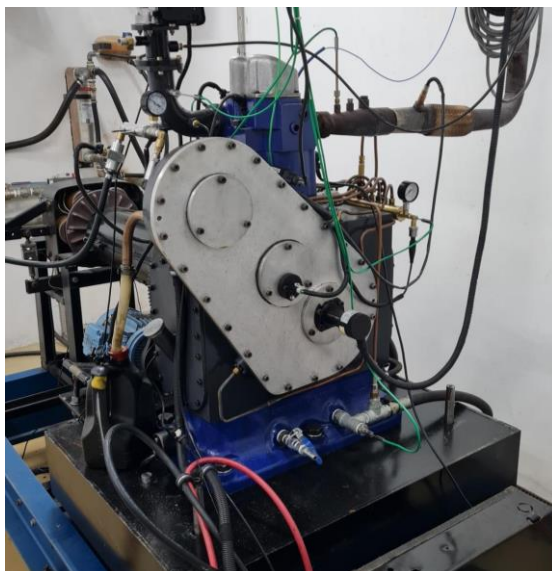


Figura 1. Motor de Combustão Interna de Pesquisas Ricardo Proteus 1200 Otto (Autor)

Tabela 1. Instrumentação utilizada nos ensaios (Autor)

Parâmetro medido	Dispositivo	Fabricante/Modelo	Incerteza
Pressão no cilindro	Piezoelétrico	AVL/GH14D	$\pm 0,4$ bar
Pressão de admissão	Piezoresistivo	MPX 2010	$\pm 0,4$ kPa
Temperatura do fluido de arrefecimento	Termopar	Alutal/tipo K	$\pm 2,0$ °C
Temperatura do óleo	Termopar	Alutal/tipo K	$\pm 2,0$ °C
Temperatura de exaustão	Termopar	Alutal/tipo K	$\pm 2,0$ °C
Temperatura de admissão	Termopar	Alutal/tipo K	$\pm 2,0$ °C
Posição do virabrequim e velocidade do motor	Encoder	Dynapar/B58N	$\pm 0,1$ °
Vazão mássica de combustível	Medidor de combustível Coriolis	Endress+Hauser/Promass A	$\pm 0,1$ %
Carga do motor	Célula de carga	Alfa Instrumentos/SV 200	$\pm 0,02$ %

A aquisição dos dados de baixa frequência (pressão de admissão, consumo instantâneo de combustível e temperaturas), bem como o controle de temperatura dos fluidos de arrefecimento e lubrificação são feitos através de uma rotina desenvolvida no software LabView® por meio de uma placa de aquisição de dados National NE610. Já a aquisição dos dados de alta frequência (pressão do cilindro e posição angular do virabrequim) é feita com o software DAQMOT®, desenvolvido localmente. O sistema de injeção e ignição é controlado através de uma ECU FT450, gerenciada pelo software FT Manager.

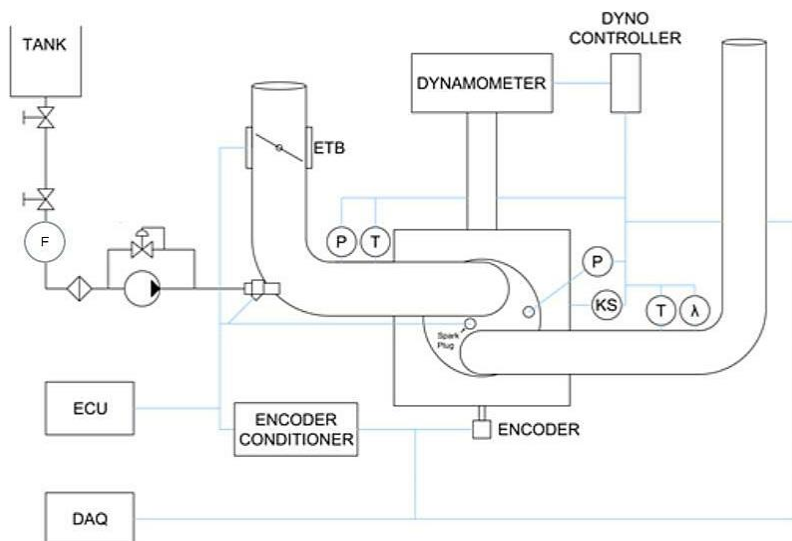


Figura 2. Diagrama da configuração do motor (Autor)

2.2. Metodologia de Ensaios

Os ensaios foram realizados em plena carga, utilizando como parâmetros de variação a razão ar/combustível e o ponto de ignição. O fator lambda (λ), utilizado para controle da mistura, foi variado entre 0,7 e 1,0, com valores de incremento de 0,1, tendo um regime de operação com excesso de combustível a fim de evitar *knock* e atingir o MBT (máximo torque de eixo, do inglês *maximum brake torque*) para cada condição de operação. A rotação foi fixada em 1400 rpm, enquanto o ponto de ignição foi variado buscando MBT dentro da faixa de operação estável, sendo limitado ao CoV (*coefficient of variation*) do IMEP para garantia de condições de dirigibilidade (inferior à 2%) (HEYWOOD, 2018) e por ruídos de combustão.

Tabela 2. Parâmetros do motor Ricardo 1200 Proteus (Autor)

Parâmetro	Valor
Volume deslocado	1194,4 cm ³
Razão de compressão	11,6:1
Sistema de Injeção	Injeção Indireta
Número de cilindros	1
Ciclo de operação	Quatro tempos / Otto
Comprimento da biela	220 mm
Curso do pistão	128 mm
Diâmetro do cilindro	109 mm
Abertura da válvula de admissão	-353° APMS
Fechamento da válvula de admissão	-149° APMS
Abertura da válvula de exaustão	147° APMS
Fechamento da válvula de exaustão	-357° APMS
Pressão da linha de combustível	4 bar
Pressão da linha de óleo	3,5 bar

A aquisição de dados do motor foi realizada de forma simultânea em dois softwares distintos, sendo um deles destinados para os dados de alta frequência de aquisição, no caso a pressão instantânea no cilindro e a posição angular do virabrequim, e os dados de baixa frequência de aquisição, com temperatura do fluido de arrefecimento, temperatura dos gases de admissão e exaustão e pressão nos dutos de admissão e exaustão. Durante a realização dos ensaios a temperatura do líquido de arrefecimento e do óleo foram mantidas em 90°C, temperatura de trabalho do motor utilizado, visando a redução do impacto da variação destes parâmetros sobre os dados obtidos.

3. RESULTADOS

Os ensaios realizados em plena carga possibilitaram uma análise das características de desempenho de diferentes combustíveis e seus limites de operação (Figura 3). Para a operação com $\lambda = 0,8$, a gasolina comum apresentou seu limite de operação com ponto de ignição de 1,0° antes do ponto morto superior (APMS), apresentando ruídos de combustão para valores de ponto de ignição mais adiantados, comparado com os outros combustíveis que chegaram em 9,5° APMS para a gasolina premium e 13,5° APMS para o etanol.

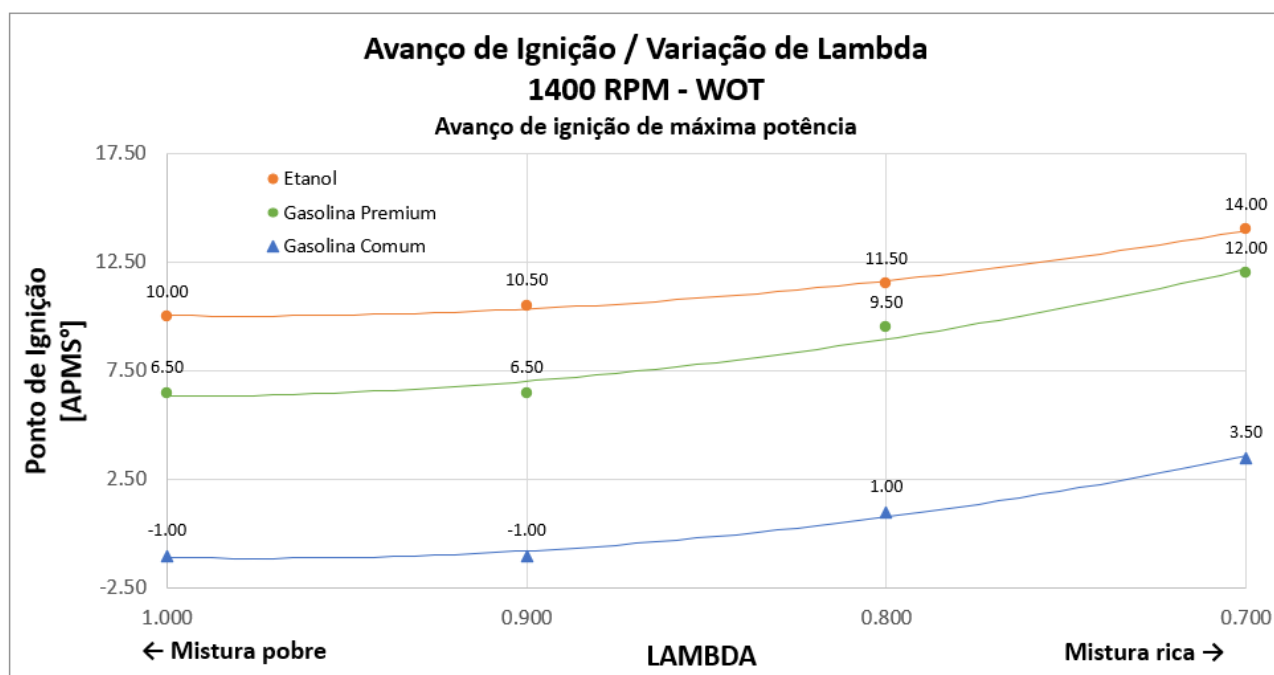


Figura 3. Avanço de ignição para variação de lambda (Autor)

Diretamente relacionado com o avanço de ignição está a potência máxima atingida. Com um maior avanço no ponto de ignição, aproximando a liberação de energia do motor ao ponto morto superior, aumenta-se o aproveitamento da energia gerada na combustão, elevando a pressão no cilindro, conseqüentemente é produzida uma maior potência, como pôde-se perceber nos dados obtidos durante os ensaios. A gasolina comum obteve desempenho de 13,65 kW, também o menor valor, a gasolina premium logo após com 14,11 kW e por fim o etanol apresentou o maior valor de potência com um total de 14,51 kW, um aumento de cerca de 7,5% com relação à gasolina comum e 3% com relação à gasolina premium. (Figura 4).

Pode-se perceber, também, a diferença de potência entre os dois tipos de gasolina. Isso se dá por conta da concentração de etanol presente em cada combustível. A gasolina comum, pode conter até 27% em volume de álcool anidro, enquanto a premium pode conter apenas 25% em volume. (ANP, 2020). O que faz com que a gasolina comum tenha menor valor de octanagem, resistência à detonação, limitando o avanço por *knock* em um valor menor, 1° APMS, em relação à gasolina premium, 9,5° APMS, limitando a potência desenvolvida pela gasolina comum.

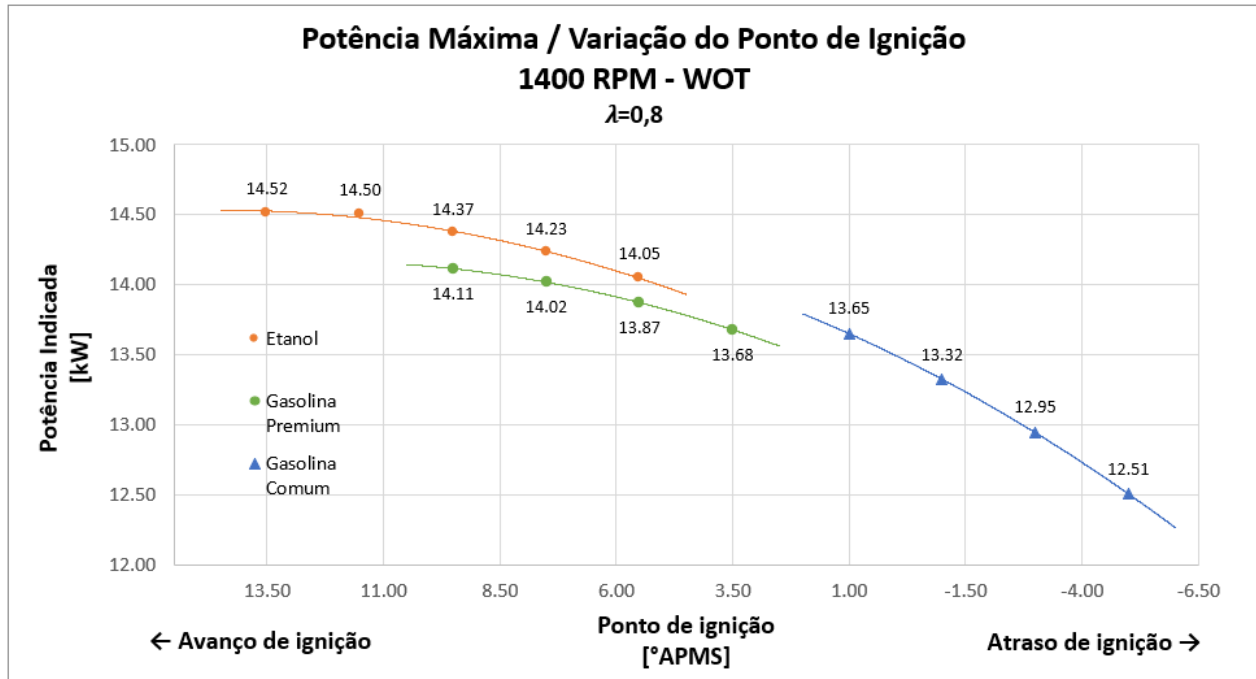


Figura 4. Dados de potência obtidos nos ensaios (Autor)

Apesar do ganho de potência ao se utilizar etanol como combustível, pôde-se perceber, ao longo dos ensaios, a disparidade em relação ao consumo, principalmente, entre o etanol e ambos os tipos de gasolina (Figura 5). O consumo específico de combustível, apresentado no gráfico, expõe a grande desvantagem do etanol, explicitando a quantidade de combustível necessária para que seja possível obter o ganho de potência desejado. Por conter uma menor densidade de energia química, 26,9 MJ/kg, comparado com a gasolina, 43 MJ/kg, o etanol necessita de maior quantidade de combustível, para entrar em combustão, para uma determinada quantidade de ar, ou seja, apresenta uma razão estequiométrica ar/combustível de 9,0, enquanto a gasolina apresenta, para a mesma quantidade de ar, uma razão de 14,6 (HEYWOOD, 2018), fazendo com que ao se utilizar etanol, 50% mais combustível seja consumido para gerar a mesma quantidade de energia.

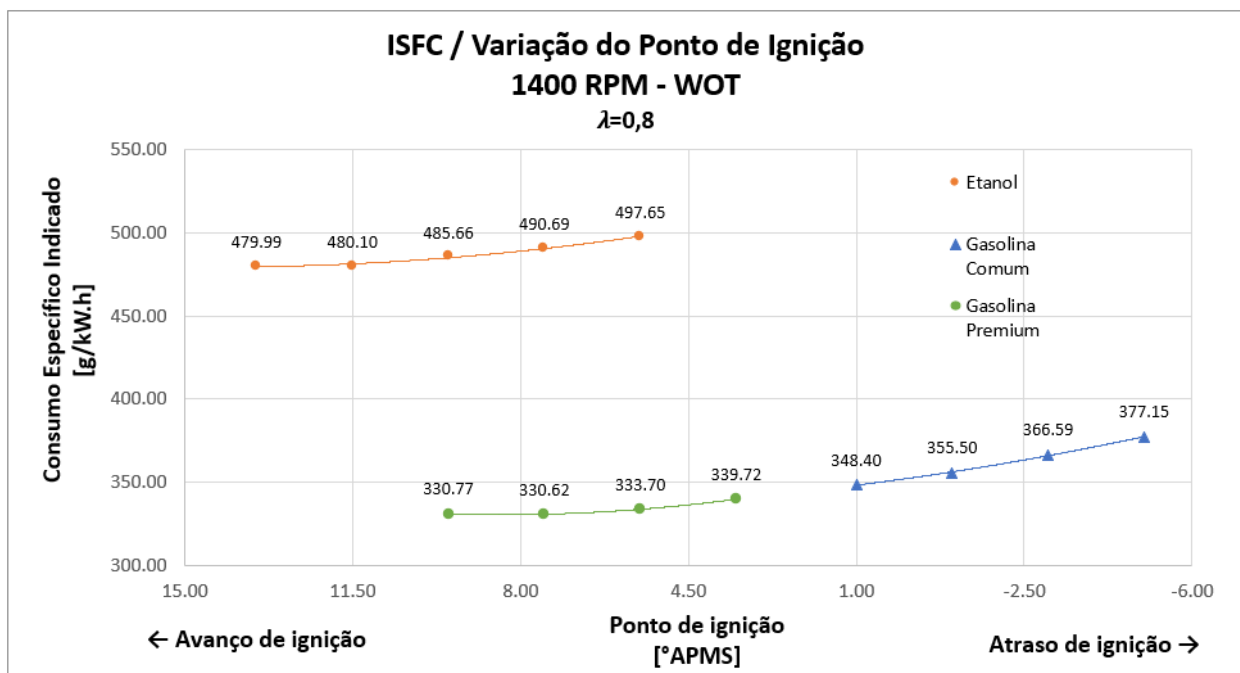


Figura 5. Dados de consumo específico obtidos nos ensaios (Autor)

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta uma avaliação de diferentes combustíveis sob operação em um motor de combustão interna de ciclo Otto. Os ensaios realizados objetivaram a máxima potência com variação do fator lambda e do ponto de ignição, utilizando etanol, gasolina comum e gasolina premium como combustíveis. A partir destes ensaios podemos concluir que:

- A gasolina premium, além produzir 2% mais potência que a gasolina comum, apresenta um consumo específico semelhante ao apresentado pela gasolina comum;
- A gasolina premium pode ser um combustível interessante de se usar em motores com mapas de injeção e ignição programáveis em que seja possível avançar o ponto de ignição cerca de 10° além do que a gasolina comum possibilita, 3,5° APMS, fazendo com que a operação possa ser otimizada para o combustível, e seja possível obter melhor desempenho;
- Apesar dos testes com etanol apresentarem uma potência 7,5% maior em comparação com a gasolina, seu consumo foi aproximadamente 50% superior, exigindo o transporte de uma massa de combustível maior para a operação na mesma condição, o que pode não ser benéfico em um veículo de competição. Portanto, o etanol, se a autonomia do veículo não for um ponto importante, pode ser um combustível de interesse;
- A gasolina comum demonstrou comportamento inferior, em relação à desempenho, com uma potência 7,5% menor que o etanol e 3% menor que a gasolina premium, apresentando consumo semelhante à gasolina premium e 50% superior ao etanol, ao longo dos testes.

Como apanhado geral, os resultados obtidos foram extremamente satisfatórios para o objetivo proposto. É perceptível a diferença de consumo, eficiência e desempenho entre os diferentes combustíveis testados. Estudos sobre combustíveis de fácil acesso, como o caso do etanol e da gasolina, proporcionam um melhor entendimento e facilidade para difundir os conhecimentos acerca de qual combustível se usar para aplicações específicas. Portanto, pode-se concluir que a realização de ensaios para comparação entre combustíveis se torna imprescindível para melhorar a divulgação acerca dos assuntos tratados durante o estudo.

5. REFERÊNCIAS

- GONZALEZ, W. **Automobilismo nacional teve ano positivo**. 2021. Available at: [https://esportes.estadao.com.br/blogs/wagner-gonzalez/automobilismo-nacional-teve-ano-positivo/#:~:text=O número de pilotos ativos,8.700 filiados em várias categorias](https://esportes.estadao.com.br/blogs/wagner-gonzalez/automobilismo-nacional-teve-ano-positivo/#:~:text=O%20número%20de%20pilotos%20ativos,8.700%20filia%20dos%20em%20v%C3%A1rias%20categorias). Acesso em: 9 fev. 2022.
- HEYWOOD, J. B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**. second edied.: McGraw-Hill, 2018.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Energia - Junho 2021**. 2021a.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Energia - Outubro 2021**. 2021b.
- QUINTANILHA, S. R. **AUTOMOBILISMO NAS REVISTAS BRASILEIRAS**. 2018.
- ROSO, V. R., SANTOS, N. D. S. A., ALVAREZ, C. E. C., RODRIGUES FILHO, F. A., PUJATTI, F. J. P., & VALLE, R. M.. **Effects of mixture enleanment in combustion and emission parameters using a flex-fuel engine with ethanol and gasoline**. Applied Thermal Engineering, 153, 463–472. 2019.
- OLIVEIRA, F. **Conheça os diferentes tipos de combustíveis que existem nos postos**. 2016. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/servicos/noticia/2016/09/conheca-os-diferentes-tipos-de-combustiveis-que-existem-nos-postos.ghtml>. Acesso em 23 fev. 2022.
- Diário Oficial da União, Brasília, DF. 23 janeiro 2020. Edição 17. Seção I, p.46. BRASIL. **Resolução N° 807, de 23 de janeiro de 2020**.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.