

# APLICAÇÃO DE MELHORADORES ORGÂNICOS DE COMBUSTÃO DE ÚLTIMA GERAÇÃO PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E RENOVÁVEIS EM UM CENÁRIO DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA GLOBAL

APPLICATION OF NEXT-GENERATION ORGANIC COMBUSTION IMPROVERS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF FOSSIL AND RENEWABLE FUELS IN A GLOBAL ENERGY TRANSITION SCENARIO

Reinaldo Ribeiro do Nascimento , Mahesh Subramaniyam.

## Abstract:

Amid the increasing search for sustainable energy solutions, this study addressed the transition necessity to a low-carbon economy, focusing on the development of organic additives to enhance the efficiency and reduce emissions in fossil fuels and their blends with biofuels. Renewable fuels, especially biodiesel and ethanol, are strategic in meeting the Paris Agreement commitments. However, biofuels' energy efficiency is often lower than that of fossil fuels. The proposed solution involves incorporating organic combustion improvers into fuels, optimizing energy performance and minimizing environmental impact. Anchored in applied chemistry principles, the project employed Laminar Combustion Vessel Burning techniques to measure flame propagation velocity, and WLTC Chassis-Dynamometer Cycle tests, which measure consumption and emissions under controlled conditions. The results were promising. The flame propagation velocity increased by 7.3% in E0 gasoline with combustion improver; WLTC tests in E0 gasoline and B10 diesel demonstrated reductions of up to 3.4% in consumption and up to 27.3% in CO emissions, and up to 7.3% in HC. Fleet tests in light vehicles showed fuel economy improvements of up to 12.5% using E5 gasoline with additives and up to 26.4% using B7 diesel with additives. The use of the studied additive provided a return of up to \$5.25 for each \$1.00 invested in the additive, presenting itself as a strategic tool for a sustainable energy matrix.

**Keywords:** Energy Transition; Renewable Fuels; Combustion Improver; Fuel Efficiency; Emissions Reduction

Em meio à busca crescente por soluções energéticas sustentáveis, este estudo abordou a necessidade de transição para uma economia de baixo carbono, centrando-se no desenvolvimento de aditivos orgânicos para a melhoria da eficiência e redução de emissões em combustíveis fósseis e suas misturas com biocombustíveis. Os combustíveis renováveis, notadamente biodiesel e etanol, são estratégicos para atender aos compromissos do Acordo de Paris. Contudo, a eficiência energética dos biocombustíveis é frequentemente inferior à dos fósseis. A solução proposta é a incorporação de melhoradores orgânicos de combustão aos combustíveis, que otimizam o desempenho energético e minimizam o impacto ambiental. Ancorado em princípios de química aplicada, o projeto utilizou técnicas de Ensaios de Queima em Vasos de Combustão Laminar que mede a velocidade de propagação de chama, e testes Chassis Dinamômetro Ciclo-WLTC, que mensuram o consumo e emissões em condições controladas. Os resultados foram promissores. A velocidade de propagação da chama aumentou 7,3% em gasolina E0 com melhorador de combustão; testes WLTC em gasolina E0 e diesel B0 evidenciaram reduções de até 3,4% no consumo e de até 27,3% nas emissões de CO e de até 7,3% de HC. Testes em frotas de veículos leves apresentaram resultados de economia de combustível de até 12,5% usando gasolina E5 aditivada e de até 26,4% usando diesel B7 aditivado. O uso do aditivo estudado, proporcionou um retorno de até US\$ 5,25 para cada US\$ 1,00 investido na aditivação, e apresenta-se como ferramenta estratégica para uma matriz energética sustentável.

**Palavras-chave:** Transição Energética; Combustíveis Renováveis; Melhorador de Combustão; Eficiência de Combustível; Redução de Emissões.

**Received:** September 8th, 2024 | **Accepted:** July 7th, 2024 | **Available online:** September 23th, 2024

**Article n°:** 2726

**DOI:** <https://doi.org/10.48072/2525-7579.rog.e.2024.2726>

1. Dorf Ketal Brasil. MARKETING TÉCNICO. BRASIL. E-mail: reinaldo@dorketal.com. (<https://orcid.org/0009-0003-5824-8113>). 2. Dorf Ketal PVT India. INDIA. E-mail: drmaheshs@dorketal.com.

## 1 - Introdução

A crise climática global impõe a necessidade de intervenções mitigatórias robustas, e o Acordo de Paris estipula metas para restringir o aumento da temperatura global a sub 2°C, preferencialmente 1,5°C, relativamente aos patamares pré-industriais, até o término deste século. Visando a neutralidade de carbono até 2050, conforme Masson-Delmotte et al. (2018), a transição para energias renováveis, especificamente etanol e biodiesel, constitui uma via reducionista para a dependência de combustíveis fósseis, em consonância com Balat e Balat (2009); Murugesan et al. (2009).

Este paradigma transicional implica também o aprimoramento na eficiência dos combustíveis existentes e na engenharia de motores. Desafios relativos ao uso de biocombustíveis na matriz energética persistem quanto à eficiência e qualidade, destacando-se a legislação do Estado da Bahia, Lei Nº 13.444 (2015), que estimula a análise custo-benefício entre etanol e gasolina. Complicações técnicas advindas da mistura de biodiesel e diesel, e a controvérsia sobre a ampliação obrigatória para 15% de biodiesel no Brasil, são salientadas por um relatório emitido pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), citadas em relatório do Ministério das Minas e Energia do Brasil (MME) (2019).

A pesquisa contemporânea enfatiza a importância de avançar na formulação de aditivos que possam potencializar a qualidade e eficiência dos combustíveis. O presente estudo explora aditivos orgânicos melhoradores de combustão, suportados por avaliações de desempenho que englobam ensaios laboratoriais e de campo. A análise abrangente destes aditivos revela benefícios econômicos e melhorias na combustão, sinalizando avanços significativos para uma transição energética sustentável e eficaz.

## 2 – Estratégia para Aumentar a Eficiência de Motores de Combustão Interna pelo viés químico

A eficiência térmica de um motor de combustão interna (MCI) é a taxa na qual um motor converte combustível em energia. O cálculo da energia útil (trabalho) é complexo e vários fatores são considerados para determinar a eficiência geral de um MCI em condição de vida real. Tais fatores incluem: tipo do motor; sistema de injeção de combustível; composição e propriedades físico-químicas do combustível; padrões de condução – a maneira em que um condutor conduz (*hypermiling*); a quantidade de oxigênio que entra na câmara de combustão; e fatores exógenos, tais como a má qualidade do combustível, o grau de limpeza do sistema de injeção, o desgaste das peças etc.

Dos fatores acima citados, a “composição e propriedades físico-químicas” e “fatores exógenos” orientam o desenvolvimento de aditivos específicos. Ambos são base para compreensão de mecanismos que orientam a síntese e formulação de aditivos químicos que melhoram a qualidade e desempenho dos combustíveis fósseis e renováveis, fatores estes relevantes para a introdução plena de biocombustíveis na matriz energética de uma nação.

## **2.1 – Composição e propriedades físico-químicas de combustíveis**

A eficiência energética dos combustíveis é um fator crítico na engenharia de combustão e tem implicações diretas na economia de energia e na mitigação de impactos ambientais. A compreensão das propriedades físico-químicas intrínsecas ao desempenho dos combustíveis é primordial para a otimização de sua conversão energética. Parâmetros como o poder calorífico, viscosidade e densidade são fundamentais na determinação da quantidade de energia que pode ser liberada durante a combustão e como essa energia é transferida para o trabalho mecânico nos motores. Adicionalmente, a composição química, que inclui a proporção de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, exerce influência significativa na cinética da reação de combustão e na formação de produtos de emissão. Propriedades específicas, como a octanagem e o índice de cetano, são também de importância particular na compatibilidade dos combustíveis com os motores a gasolina e diesel, respectivamente. Estes indicadores são essenciais para a caracterização da resistência à detonação e da prontidão à autoignição, que afetam a eficiência termodinâmica e a suavidade operacional dos motores. Além disso, a temperatura de ignição e a velocidade de propagação de chama são parâmetros críticos que influenciam a fase inicial da combustão, impactando diretamente na eficiência e nas emissões.

Neste trabalho, a inclusão do indicador “velocidade de propagação de chama” é tratada com especial atenção, pois é o indicador chave de inovação em relação a introdução de um componente melhorador de velocidade de propagação de chama - também conhecido como melhorador de combustão - na formulação de um aditivo de desempenho para combustível. A velocidade de propagação de chama de um combustível é uma medida da rapidez com que a frente de chama se move através da mistura de combustível e ar durante a combustão.

## **2.2 - Fatores exógenos: má qualidade do combustível, o grau de limpeza do sistema de injeção e o desgaste das peças**

Fatores exógenos, como a qualidade do combustível, a integridade do sistema de injeção e o estado das peças internas do motor, exercem influência significativa na eficiência dos motores de

combustão interna. A seguir, discutem-se detalhes como cada um desses fatores afeta a eficiência da combustão.

### **2.2.1 Qualidade do Combustível**

As impurezas ou variações na formulação, por vezes, adulterações dos combustíveis afetam negativamente a qualidade que por sua vez pode alterar a eficiência energética destes. Combustíveis de baixa qualidade podem conter contaminantes ou um teor maior de compostos indesejáveis, tais como sedimentos, oxigênio, enxofre ou água, que podem causar corrosão, deposição de resíduos e aumento nas emissões de poluentes.

### **2.2.2 Grau de Limpeza do Sistema de Injeção**

O sistema de injeção tem a função de entregar o combustível na câmara de combustão de maneira precisa e controlada. A formação de depósitos ou obstruções nos injetores pode perturbar o padrão de atomização do combustível na câmara de combustão do motor, levando a gotas maiores e distribuição desigual, o que impede a mistura homogênea com o ar e compromete a queima.

### **2.2.3 Desgaste das Peças**

O desempenho do motor é altamente dependente da precisão mecânica e da integridade das peças internas. O desgaste de componentes críticos, como pistões, anéis de pistão e válvulas, pode levar a uma compressão inadequada, vazamentos de gases e entrada de óleo na câmara de combustão.

Assim considerando, o presente trabalho apresenta dois novos componentes químicos de natureza orgânica, sendo que um atua como detergente, agente de limpeza de componentes internos e modificador de fricção que evita o desgaste das peças internas do motor, e outro como melhorador de propagação de chama que aumenta a eficiência de combustão do combustível, com impacto direto no aumento da eficiência energética e redução de emissões.

O componente detergente avaliado apresenta composições de agentes químicos destinados a controlar a formação de depósitos e reduzir os já formados em sistemas de injeção de combustível em motores de combustão interna. A inovação centra-se no uso da invenção de Subramaniyan (2019) que utiliza derivados de óxido de borneol ou isoborneol como componentes não nitrogenados dos aditivos, que evitam a formação de óxido de nitrogênio (NOx) além de resolver problemas de depósito. A eficácia desta abordagem é demonstrada por meio de testes padrão da indústria,

destacando uma redução significativa nos depósitos tanto nas válvulas de admissão quanto nas câmaras de combustão.

O componente melhorador de velocidade de propagação de chama é um agente químico inovador que atua via mecanismo de melhoria da propagação de chama para composições de combustível, baseado na invenção de Subramaniyan (2022) que utiliza uma mistura de amida ácida produzida pela síntese de polisobutileno com pentamina tetraetileno tratado com óxido de eteno. Os testes padrão da indústria e os de vida real sob condução humana demonstraram a eficácia do aditivo em melhorar a qualidade da combustão, aumento da autonomia e redução de emissões.

### **3 – Metodologias de Avaliação**

Exaustivos estudos foram realizados utilizando testes padrão da indústria para avaliação de aditivos em gasolina, diesel e misturas com biocombustíveis. A seguir são elencados os mais relevantes para o conteúdo deste trabalho. Uma formulação específica combinada de “detergente” e “melhorador de combustão” foram submetidos aos testes abaixo elencados em dosagens variadas.

#### **3.1 – Metodologias de avaliação aplicadas a gasolina e misturas com álcoois.**

##### **3.1.1 Testes Padrão da Indústria para Avaliação de Desempenho de Aditivos Detergentes Utilizados em Gasolina**

Os testes padrão da indústria são essenciais para avaliar a qualidade e o desempenho dos combustíveis, com ou sem aditivos em diversas condições operacionais. Nos Estados Unidos e na Europa, diferentes testes são adotados para capacidade de manter limpo e limpar os componentes do motor e sistema de injeção, a exemplo dos testes BMW ASTM D5500 (2018) nos EUA, e M102E CEC-F-05-93 (2008) na Europa que avaliam depósitos em válvulas de admissão.

Como o foco do trabalho é avaliar a melhoria da eficiência energética e redução de emissões, serão descritos a seguir apenas os testes que avaliam a capacidade de aumentar a eficiência do combustível e reduzir as emissões.

##### **3.1.2 Testes de Avaliação de Economia de Combustível e Redução de Emissões – Chassis Dinamômetro**

O WLTP - Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (2014) é um procedimento de chassis-dinamômetro que determina os níveis de poluentes (CO, HC, Nox etc.), o consumo de

combustível e a autonomia de veículos leves. O WLTC (Worldwide Harmonized Light Test Cycle), proposto por Tutuianu et al. (2015), é especificamente um ciclo de condução que é usado dentro do procedimento WLTP para simular o uso do veículo em condições de estrada. O WLTC é projetado para replicar um perfil de condução realista, incluindo diferentes fases com diferentes velocidades médias: baixa, média, alta e muito alta. Ciclos do WLTC adotados no teste: Ciclo Urbano (baixa): Duração aproximada de 13 minutos e velocidade média de 18-20 km/h. Ciclo Suburbano (média): Duração aproximada de 10 minutos, velocidade média de 40 km/h. Ciclo Rodoviário (alta): Duração aproximada de 10 minutos, velocidade média de 60-70 km/h. Ciclo em Autoestrada (muito alta): Duração aproximada de 7 minutos, velocidade média de 90-100 km/h. Cada ciclo do WLTC é projetado para refletir diferentes tipos de comportamento de condução, desde o urbano com tráfego intenso e muitas paradas, até a condução em autoestrada a velocidades elevadas.

Para avaliar o aditivo proposto neste trabalho, foi utilizado um veículo de marca Mercedes, modelo C180, abastecido com gasolina E0 e conduzido seguindo o ciclo de teste WLTC, padrão europeu (ECE-R83.05 Euro 6d). O teste foi realizado em uma única unidade de teste, correspondente ao ano de fabricação 2012 e adequação ao padrão de emissões Euro 5. O sistema de injeção de combustível do veículo é do tipo Injeção Direta de Gasolina, com um motor de deslocamento de 1796 cc (centímetros cúbicos), capaz de gerar uma potência de 115 kW.

### **3.1.3 Teste para avaliar a eficiência de velocidade laminar de queima do combustível**

Baseado no trabalho de Stanglmaier et al. (2003), o procedimento avalia o impacto do melhorador de combustão na propagação da chama e na atomização do combustível para uma eficiência de combustão aprimorada. A bancada é constituída por uma câmara de combustão cilíndrica de volume constante capaz de ignição central em condições quiescentes, pressurizadas e de alta temperatura. A temperatura e as pressões de início da combustão podem ser modificadas de tal forma que várias condições relevantes do motor possam ser estudadas nesta câmara. A saída dessa configuração é o traçado de pressão do evento de combustão, que é usado para calcular uma velocidade de queima laminar esticada (LBV). Para os testes de LBV, o combustível EEE da Haltermann serve como o combustível de referência base, e os resultados são calculados a uma temperatura de 530K (257°C), pressão de 18bar (261psi) e razão de equivalência de 1phi. Uma LBV mais alta significa uma taxa de queima mais alta dentro de um motor, o que leva a eficiências aumentadas e poderia resultar em melhor potência, economia de combustível e controle de depósitos.

## **3.2 – Metodologias de avaliação aplicadas a diesel e misturas com biodiesel.**

### **3.2.1 Testes Padrão da Indústria para Avaliação de Desempenho de Aditivos Detergentes Utilizados em Diesel**

Os ensaios de limpeza de injetores de combustível, como estipulados pela Comissão Europeia de Cooperação de Engenharia Automotiva (CEC), empregam uma série de testes utilizando motores Peugeot específicos, a exemplo do Teste em motor Peugeot XUD9 (CEC-F-23-01) que avalia a limpeza do bico injetor e o “Austria Efficiency Test” que avalia limpeza do bico injetor e economia de combustível. Para avaliar a melhoria da eficiência do combustível e redução de emissões do aditivo proposto foram adotados os métodos “Austria Energy Efficiency Test” e “Chassis-Dinamômetro”.

### **3.2.2 Teste Austríaco de Eficiência de Energia - "Austria Energy Efficiency Test":**

É um método rigoroso, baseado nas diretrizes publicadas pelo BGBl - Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2016), projetado para avaliar a eficiência energética de motores Diesel com injeção direta e sistema Common Rail, instalado em bancada. Baseado no padrão CEC F-98-08 com o motor PSA DW10B, este teste específico se concentra em duas fases: a fase "Sujando", o motor é intencionalmente sujado sem aplicação de aditivo ao diesel, e a fase "Limpendo", o motor é limpo pela ação do diesel aditivado. O desempenho é medido pela mudança percentual no consumo de combustível após 32 horas de operação no final da fase de limpeza. Para passar no teste, é esperado que o consumo de combustível aumente em um mínimo de  $2,6 \pm 0,2\%$  durante a fase "Sujando" e que haja uma recuperação de no mínimo 50% dessa desvantagem no consumo durante a fase "Limpendo". As medições de consumo de combustível neste teste são realizadas com precisão e consistem em três medições individuais, que são médias calculadas ao longo de dois minutos. O valor médio dessas três medições individuais resulta no consumo de combustível detectado. O ciclo de medição do consumo de combustível na etapa 4, que dura 20 minutos, inclui 11 minutos de estabilização, três medições "Add On FC" (medições individuais), seguidas por 2 minutos de medição e 1 minuto de tempo de espera. Este procedimento detalhado assegura que os dados de consumo de combustível refletem o desempenho real do motor em condições controladas e repetíveis.

### **3.2.3 Testes de Avaliação de Economia de Combustível e Redução de Emissões-Chassis Dinamômetro**

Estes testes seguem o mesmo procedimento WLTP (ciclo WLTC) já descritos para avaliação de motores a gasolina. As condições gerais dos testes chassis dinamômetro são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados do Veículo Selecionado para o teste WLTP (Ciclo WLTC)

<b>Marca e Tipo do Veículo</b>	BMW 118d
<b>Combustível de Teste</b>	B10 Diesel
<b>Número de Veículos</b>	1
<b>Ano</b>	2014, Euro 5b
<b>Sistema de Injeção</b>	Common Rail de Alta Pressão
<b>Cilindrada</b>	1995 cc
<b>Potência</b>	105 kW

Fonte – Produzido pelos autores.

## 4 – Resultados

### 4.1 – Resultados de Testes de Economia de Combustível e Redução de Emissões (Chassis Dinamômetro).

A Tabela 2 apresenta os resultados dos testes de economia de combustível e redução de emissões realizados com um veículo Mercedes C180 utilizando gasolina E0 aditivada em um ciclo de condução WLTC. É possível concluir que, usando a gasolina aditivada, houve uma economia de combustível de 2,4%. Em relação à redução de emissões, os resultados foram significativos, registrando-se uma diminuição de 18,8% nas emissões de monóxido de carbono (CO) e 20,0% nas de óxidos de nitrogênio (NOx).

Tabela 2 – Testes de Economia de Combustível e Redução de Emissões Chassis-Dinamômetro com Gasolina E0

Combustível	Veículo	Drive Cycle	Economia de Combustível (%)	Redução de Emissões (%)		
				HC	CO	NO <sub>x</sub>
Gasolina (E0)	Mercedes C180	WLTC	2,4	0	18,8	20,0

Fonte – Produzido pelos autores.

A Tabela 3 mostra os resultados dos testes de economia de combustível e de redução de emissões para um veículo BMW 118d utilizando diesel B0 aditivado em um ciclo WLTC. Conclui-se que o veículo teve uma economia de combustível de 3,4%. Em termos de emissões, houve uma redução de 7,4% em hidrocarbonetos (HC), 27,3% em monóxido de carbono (CO), e 8,4% em óxidos de nitrogênio (NOx), indicando uma melhoria significativa na eficiência e impacto ambiental do diesel B0.

Tabela 3 – Testes de Economia de Combustível e Redução de Emissões Chassis-Dinamômetro com Diesel B0

Combustível	Veículo	Ciclo	Economia de Combustível (%)	Redução de Emissões (%)		
				HC	CO	NO <sub>x</sub>
Diesel (B0)	BMW 118d	WLTC	3,4	7,4	27,3	8,4

Fonte – Produzido pelos autores.

Na Tabela 4, encontram-se os resultados do teste de eficiência energética Áustria Energy Efficiency Test com Diesel B0 aditivado. Inicialmente, o consumo de combustível foi de 17,140 kg/h. Após o uso do diesel base, o consumo aumentou para 17,950 kg/h. No entanto, com a limpeza promovida pelo uso do diesel aditivado, o consumo se manteve praticamente estável em 17,143 kg/h. Conclui-se que a limpeza com diesel aditivado resultou em uma economia de combustível de 4,5%.

Tabela 4 - Austria Energy Efficiency Test com Diesel B0

Condição de Teste	BSFC – Consumo de Combustível (kg/h)	Economia de Combustível (%)
Início do Teste	17,140	
Sujando com Diesel Base	17,950	4,5
Limpeza do Diesel Aditivado	17,143	

Fonte – Produzido pelos autores.

## 4.2 – Resultados de teste de eficiência de velocidade laminar de propagação de chama

Na Tabela 5 estão os resultados da comparação dos testes de velocidade laminar de queima com gasolina (E0) padrão EEE da Hatemann Solutions. A gasolina base (E0) teve uma velocidade de 53,57 cm/s, enquanto a gasolina EEE aditivada (E0) mostrou uma velocidade de 57,48 cm/s. Pode-se concluir que o uso de gasolina aditivada resultou em uma melhoria de 7,3% na velocidade de queima.

Tabela 5 – Testes de Velocidade Laminar de Queima (LBV) com Gasolina Padrão EEE Haltermann Solutions

Combustível	Velocidade laminar @ 1 phi, cm/s	% de melhoria
Gasolina Base (E0)	53,57	-
Gasolina Aditivada (E0)	57,48	7.3

Fonte – Produzido pelos autores.

## 5 – Avaliação de Retorno Econômico e Ambiental

Considerando que o preço do combustível (diesel como referência) seja de US\$/L 1,00 e o preço do aditivo seja de US\$/L 8,00 e a economia de combustível varie de 1% a 5%, utilizando a dosagem máxima de aditivo de 1.000 mg/L, a taxa de retorno será de US\$/L 0,25 a US\$/L 5,25 para cada US\$/L 1,00 investido no aditivo. A redução de emissões é resultante da quantidade de combustível que deixou de ser consumida para realizar o mesmo trabalho. Assim, por exemplo, para cada 1 milhão de litros de diesel base que passe a usar o aditivo testado, e que proporcione economia de consumo entre 1% e 5%, serão deixados de lançar na atmosfera 26,76 ton de CO<sub>2</sub> a 133,82 ton de CO<sub>2</sub>.

## 6 – Estudos de Caso

## 6.1 - Caso 1: Teste de Pista com Veículos Leves para Avaliar a Economia Real de Combustível na Europa (Grécia) – Gasolina e Diesel

Para avaliar o desempenho da economia de combustível, testes de frota de veículos leves em estrada foram conduzidos para demonstrar o impacto do aditivo avaliado sob condições reais de condução humana e ambientais. Os testes foram realizados por motoristas profissionais independentes com a assistência da SGS Grécia S.A. e Laboratório de Termodinâmica Aplicada (LTA) da Universidade Aristóteles de Tessalônica (UAT) – Grécia. A compilação, interpretação e documentação dos resultados dos testes foram realizadas pela LTA/UAT. Os resultados são apresentados nas Tabelas 6 a 9.

Tabela 6 – Frota de Veículos a Gasolina

Veículo de Teste	Mercedes C180	Skoda Fabia	Suzuki Baleno	Mini Cooper	BMW X3
Sistema de Injeção	Gasolina/DI	Gasolina/PFI	Gasolina/PFI	Gasolina/PFI	Gasolina/PFI
Combustível	Gasolina E5	Gasolina E5	Gasolina E5	Gasolina E5	Gasolina E5
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	1595	998	1242	1598	2996
Potência (kW)	115	55	66	120	200
Quilometragem antes do teste	871	18.542	9.398	81.500	91.575

Fonte – Produzido pelos autores.

Tabela 7 – Frota de Veículos a Diesel

Veículo de Teste	Ford Ranger/N1G	Mercedes GLA/M1	Mercedes Vito/M1	Renault Master/N1	Mercedes Atego/N2
Sistema de Injeção	Common Rail Injeção Direta	Diesel Injeção Direta/UPS			
Combustível	Diesel B7	Diesel B7	Diesel B7	Diesel B7	Diesel B7
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	3198	1461	1598	2299	4749
Potência (kW)	147	80	84	92	130
Quilometragem antes do teste (km)	122.961	10.394	38.513	94.697	40.7666

Fonte – Produzido pelos autores.

Tabela 8 – Resultados obtidos de economia de gasolina E5 na frota de teste

Veículo de Teste	Gasolina Base (l/100 km)	Gasolina Aditivada (l/100 km)	Economia de Combustível (%)
Mercedes C180	7,60	6,80	10,53
Skoda Fabia	6,40	5,95	7,03
Suzuki Baleno	5,25	4,85	7,62
Mini Cooper	8,80	7,70	12,50
BMW X3	10,10	9,50	5,94

Fonte – Produzido pelos autores.

Tabela 9 – Resultados obtidos de economia de Diesel B7 na frota de teste

	Diesel Base (l/100 km)	Diesel Aditivado (l/100 km)	Economia de Combustível (%)
<b>Ford Ranger N1G</b>	11,12	8,90	19,96
<b>Mercedes GLA</b>	6,25	4,60	26,40
<b>Mercedes Vito</b>	7,25	6,00	17,24
<b>Renault Master</b>	11,77	10,4	11,64%
<b>Mercedes Atego</b>	17,63	14,4	18,32%

Fonte – Produzido pelos autores.

Conclui-se que os veículos testados com gasolina E5 e Diesel B7 apresentaram variações significativas em economia de combustível. Para a gasolina E5, a economia foi até 12,5% e para o Diesel B7, até 26,4% em veículos leve.

## 7 – Considerações Finais

Este estudo abordou a necessidade de transição para uma economia de baixo carbono, centrando-se no desenvolvimento e avaliação de aditivos orgânicos para a melhoria da eficiência e redução de emissões em combustíveis fósseis e suas misturas com biocombustíveis.

Os resultados obtidos por meio de testes padrão da indústria e estudos de caso, sob diversas condições de condução e ambientais demonstraram ganhos efetivos de economia de combustível e redução de emissões. Teste em motor de bancada apresentou redução de consumo de 4,5% com diesel B0 aditivado, e melhoria de 7,3% em testes de velocidade de propagação de chama com gasolina E0 padrão aditivada. Economias de combustível de 2,4% para veículos a gasolina E0 aditivada e 3,4% para diesel B0 aditivado foram observadas em testes chassis-dinamômetro WLTP (ciclo WLTC). Estudos de caso de testes em frotas mostraram economia de combustível de até 12,5% para veículos leves usando gasolina E5 aditivada e de até 26,4% para veículos leves usando diesel B7 aditivado. Foram observadas reduções relevantes nas emissões de poluentes, com diminuições de até 27,3% em CO para diesel B0 aditivado e 18,8% em CO para gasolina E0 aditivada.

Este trabalho destaca a importância de abordagens que não exigem investimentos CAPEX e com retorno econômico imediato, podendo chegar a US\$ 5,25 para cada US\$1,00 investido na aditivação do combustível com a tecnologia de aditivo proposta.

À luz dos resultados promissores, sugere-se a continuidade da investigação para aprofundar o entendimento das interações entre diferentes formulações de combustíveis - com e sem aditivo - e sistemas de injeção para consolidar a aplicabilidade dos achados.

## Referências

- Balat, M., & Balat, H. (2009). Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Applied Energy*, 86(11), 2273-2282. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.015>
- Coordinating European Council. (2008). CEC-F-05-93 - Inlet Valve Cleanliness in the Mb m102E Engine [Método de Avaliação]. <https://www.document-center.com/standards/show/CEC-F-05-93/history/ISSUE%2011>
- Governo do Estado da Bahia. Dispõe sobre a obrigatoriedade de afixação, nos postos revendedores de combustíveis, em local de fácil acesso ao consumidor, de placa com informação do percentual da diferença de preço do litro do etanol em relação ao litro da gasolina, e dá outras providências, LEI No 13.444 DE 06 DE OUTUBRO DE 2015 (2015). <https://leisestaduais.com.br/ba/lei-ordinaria-n-13444-2015-bahia-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-de-afixacao-nos-postos-revendedores-de-combustiveis-em-local-de-facil-acesso-ao-consumidor-de-placa-com-informacao-do-percentual-da-diferenca-de-preco-do-litro-do-etanol-em-relacao-ao-litro-da-gasolina-e-da-outras-providencias>
- Grupo de Trabalho para Testes com Biodiesel. (2019). Relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de Biodiesel B15 em motores e veículos [Documento, Ministério das Minas e Energia]. [https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/documentos/relatorios-de-aprovacao-do-b15/copy\\_of\\_Relatriodeconsolidadostestese.....pdf](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/documentos/relatorios-de-aprovacao-do-b15/copy_of_Relatriodeconsolidadostestese.....pdf)
- Masson, V., Zhai, P., Pörtner, H., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., & et al. (2018). IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Document, Intergovernmental Panel on Climate Change.]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf)
- Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R., & Nedunchezian, N. (2009). Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3), 653-662. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.007>
- Schlomann, B., Voswinkel, C., Hirzel, S., & et al. (2016). Verallgemeinerte Methoden zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen [Método de Avaliação, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung]. [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA\\_2016\\_II\\_172/COO\\_2026\\_100\\_2\\_1241958.pdfsig](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2016_II_172/COO_2026_100_2_1241958.pdfsig)
- Southwest Research Institute and BMW NA. (2018). ASTM D5500-18 - Standard Test Method For Vehicle Evaluation Of Unleaded Automotive Spark-Ignition Engine Fuel For Intake Valve Deposit Formation [Método de Avaliação, American National Standards Institute]. <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmd550018>
- Stanglmaier, R. H., Roberts, C. E., Mehta, D., Chadwell, C. J., Snyder, J. C., Watkins M. I., & Avery, N. L. (2003). Measurement of Laminar Burning Velocity of Multi-Component Fuel Blends for Use in High-Performance SI Engines. 2003-01-3185, 3-8. <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2003-01-3185/>
- Subramaniyan, M. (2022). Performance enhancing additive for fuel composition, and method of use thereof [Patent US 2022/0017832A1, U.S. Patent and Trademark Office]. <https://patentimages.storage.googleapis.com/f1/59/92/86e6bf586a22d3/US20220017832A1.pdf>
- Subramaniyan, M. (2019). Fuel additives composition, and method of use thereof [Patent WO2019097353A1, World Intellectual Property Organization]. <https://patentimages.storage.googleapis.com/1b/28/31/85040dd07b48e5/WO2019097353A1.pdf>
- Tutuianu, M., Bonnela, P., Ciuffo, B., Haniu, T., Ichikawa, N., Marotta, A., Pavlovic, J., & et al. (2015). Development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40(2015), 61-75. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.011>
- United Nations Economic Commission for Europe. (2021). United Nations Global Technical Regulation on Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP) [Método de Avaliação]. <https://unece.org/sites/default/files/2022-06/ECE-TRANS-180a15am6e.pdf>

Access all Papers

[biblioteca.ibp.org.br](http://biblioteca.ibp.org.br)

