

**EXPERIMENTAL STUDY ON ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND MITIGATING ENVIRONMENTAL
IMPACT OF AN AUTOMOTIVE ENGINE THROUGH HYDROGEN INJECTION INTO THE AIR INTAKE
SYSTEM**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA MITIGACIÓN
DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UN MOTOR DE AUTOMÓVIL MEDIANTE LA INYECCIÓN DE
HIDRÓGENO EN EL SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE**

**ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A MITIGAÇÃO DO
IMPACTO AMBIENTAL DE UM MOTOR AUTOMOTIVO ATRAVÉS DA INJEÇÃO DE HIDROGÊNIO NO
SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR**



<https://doi.org/10.56238/arev7n7-087>

Date of Submission: 07/06/2025

Date of Publication: 07/07/2025

**Everton Luiz Peroni Almeida¹, Leonardo Rodrigues de Araújo², André Gustavo de
Sousa Galdino³**

ABSTRACT

Currently, global energy demands are primarily met by fossil fuels, which are expected to be depleted in the near future. Additionally, the cost of these fuels has been rising due to increased demand and improved economic conditions in some countries. The growing reliance on fossil fuels has significantly contributed to the escalation of global warming and air pollution. Hydrogen, with its high-octane rating and substantial calorific value, enhances thermal efficiency in internal combustion engines. Moreover, hydrogen's lack of carbon bonds means that it reduces carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂) emissions when mixed with gasoline. Therefore, the research and development of hydrogen-gasoline-powered internal combustion engines (ICE) holds promising potential. In this context, the present study proposes an experimental investigation aimed at enhancing energy efficiency and reducing the environmental impact of a gasoline-powered automotive engine through the injection of hydrogen into the air intake system. The primary challenge faced by the automotive industry is the development of efficient propulsion systems that emit lower levels of pollutants, which serves as the motivation for this study. For this work, an experimental test bench was constructed using a Ford Zetec Rocam 1.0 gasoline engine (1000cc), incorporating hydrogen injection into the air intake manifold. The engine was not modified for the gasoline-hydrogen mixture, and the ignition timing was left unchanged, remaining consistent with that of gasoline. Performance evaluations were conducted at

¹ Federal Institute of Espírito Santo, Vitória, Brazil

² Federal Institute of Espírito Santo, Vitória, Brazil

³ Federal Institute of Espírito Santo, Vitória, Brazil

1000, 2000, and 3000 rpm, with air parameters set at 30°C dry bulb temperature and 77% relative humidity. The addition of hydrogen increased the total energy and accelerated the combustion reaction of the mixture, resulting in an improvement in thermal efficiency of 10%, 9% and 9% for 1000, 2000, and 3000 rpm, respectively. This enhancement led to higher peak combustion pressure and elevated temperatures, which, in turn, increased specific NO_x emissions of 47%, 33% and 36% for 1000, 2000, and 3000 rpm, respectively. However, emissions of CO were reduced of 15%, 13% and 13% for 1000, 2000, and 3000 rpm, respectively, emissions of CO₂ were reduced of 10%, 13% and 13% for 1000, 2000, and 3000 rpm, respectively, and emissions of HC were reduced of 14%, 15% and 17% for 1000, 2000, and 3000 rpm, respectively. A technical analysis of the engine revealed that the combustion of the gasoline-hydrogen mixture generates high thermal loads, which can damage the catalyst, the upper piston region, cylinder rings, and the combustion chamber, as well as the subsystems and auxiliary mechanisms. These findings highlight the need for the development and application of new technologies and materials specifically designed for this type of hybrid engine.

Keywords: Hydrogen, Automotive Internal Combustion Engine, Thermal Efficiency, Pollutant Emissions.

RESUMO

Atualmente, a demanda global por energia é atendida principalmente por combustíveis fósseis, que devem se esgotar em um futuro próximo. Além disso, o custo desses combustíveis tem aumentado devido ao aumento da demanda e à melhoria das condições econômicas em alguns países. A crescente dependência de combustíveis fósseis tem contribuído significativamente para o aumento do aquecimento global e da poluição do ar. O hidrogênio, com sua alta octanagem e substancial poder calorífico, aumenta a eficiência térmica em motores de combustão interna. Além disso, a ausência de ligações de carbono no hidrogênio significa que ele reduz as emissões de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) quando misturado à gasolina. Portanto, a pesquisa e o desenvolvimento de motores de combustão interna (MCI) movidos a hidrogênio e gasolina apresentam um potencial promissor. Nesse contexto, o presente estudo propõe uma investigação experimental com o objetivo de aumentar a eficiência energética e reduzir o impacto ambiental de um motor automotivo movido a gasolina por meio da injeção de hidrogênio no sistema de admissão de ar. O principal desafio enfrentado pela indústria automotiva é o desenvolvimento de sistemas de propulsão eficientes que emitam níveis mais baixos de poluentes, o que serve como motivação para este estudo. Para este trabalho, uma bancada de testes experimental foi construída usando um motor a gasolina Ford Zetec Rocam 1.0 (1000cc), incorporando injeção de hidrogênio no coletor de admissão de ar. O motor não foi modificado para a mistura gasolina-hidrogênio, e o ponto de ignição foi deixado inalterado, permanecendo consistente com o da gasolina. As avaliações de desempenho foram conduzidas a 1000, 2000 e 3000 rpm, com parâmetros de ar definidos em temperatura de bulbo seco de 30°C e umidade relativa de 77%. A adição de hidrogênio aumentou a energia total e acelerou a reação de combustão da mistura, resultando em uma melhoria na eficiência térmica de 10%, 9% e 9% para 1000, 2000 e 3000 rpm, respectivamente. Esse aprimoramento levou a uma maior pressão de pico de combustão e temperaturas elevadas, o que, por sua vez, aumentou as emissões específicas de NO_x de

47%, 33% e 36% para 1000, 2000 e 3000 rpm, respectivamente. No entanto, as emissões de CO₂ foram reduzidas em 15%, 13% e 13% para 1.000, 2.000 e 3.000 rpm, respectivamente, as emissões de CO₂ foram reduzidas em 10%, 13% e 13% para 1.000, 2.000 e 3.000 rpm, respectivamente, e as emissões de HC foram reduzidas em 14%, 15% e 17% para 1.000, 2.000 e 3.000 rpm, respectivamente. Uma análise técnica do motor revelou que a combustão da mistura gasolina-hidrogênio gera altas cargas térmicas, que podem danificar o catalisador, a região superior do pistão, os anéis de cilindro e a câmara de combustão, bem como os subsistemas e mecanismos auxiliares. Essas descobertas ressaltam a necessidade do desenvolvimento e da aplicação de novas tecnologias e materiais projetados especificamente para esse tipo de motor híbrido.

Palavras-chave: Hidrogênio, Motor de Combustão Interna Automotivo, Eficiência Térmica, Emissões de Poluentes.

Palabras clave: Hidrógeno, Motor de combustión interna automotriz, Eficiencia térmica, Emisiones contaminantes.

RESUMEN

Actualmente, la demanda mundial de energía se satisface principalmente con combustibles fósiles, cuyo agotamiento se prevé en un futuro próximo. Además, el coste de estos combustibles ha aumentado debido a la mayor demanda y a la mejora de las condiciones económicas en algunos países. La creciente dependencia de los combustibles fósiles ha contribuido significativamente al aumento del calentamiento global y la contaminación atmosférica. El hidrógeno, con su alto octanaje y su considerable poder calorífico, mejora la eficiencia térmica de los motores de combustión interna. Además, la ausencia de enlaces de carbono en el hidrógeno implica que reduce las emisiones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) al mezclarse con gasolina. Por lo tanto, la investigación y el desarrollo de motores de combustión interna (ICE) propulsados por hidrógeno y gasolina presentan un potencial prometedor. En este contexto, el presente estudio propone una investigación experimental destinada a mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental de un motor de automóvil de gasolina mediante la inyección de hidrógeno en el sistema de admisión de aire. El principal reto al que se enfrenta la industria automotriz es el desarrollo de sistemas de propulsión eficientes que emitan menos contaminantes, lo que motiva este estudio. Para este trabajo, se construyó un banco de pruebas experimental con un motor de gasolina Ford Zetec Rocam 1.0 (1000 cc), que incorpora inyección de hidrógeno en el colector de admisión. El motor no se modificó para la mezcla de gasolina e hidrógeno, y el tiempo de encendido se mantuvo sin cambios, manteniéndose consistente con el de la gasolina. Las evaluaciones de rendimiento se realizaron a 1000, 2000 y 3000 rpm, con parámetros de aire establecidos a 30 °C de temperatura de bulbo seco y 77 % de humedad relativa. La adición de hidrógeno aumentó la energía total y aceleró la reacción de combustión de la mezcla, lo que resultó en una mejora en la eficiencia térmica del 10 %, 9 % y 9 % para 1000, 2000 y 3000 rpm, respectivamente. Esta mejora condujo a una mayor presión pico de combustión y temperaturas elevadas, lo que, a su vez, aumentó las emisiones específicas de NO_x del 47 %, 33 % y 36 % para 1000, 2000 y 3000 rpm, respectivamente. Sin embargo, las emisiones de CO se redujeron en un 15%, 13% y 13% a 1000, 2000 y 3000 rpm, respectivamente; las emisiones de CO₂ se redujeron en un 10%,

13% y 13% a 1000, 2000 y 3000 rpm, respectivamente; y las emisiones de HC se redujeron en un 14%, 15% y 17% a 1000, 2000 y 3000 rpm, respectivamente. Un análisis técnico del motor reveló que la combustión de la mezcla gasolina-hidrógeno genera altas cargas térmicas, que pueden dañar el catalizador, la región superior del pistón, los anillos del cilindro y la cámara de combustión, así como los subsistemas y mecanismos auxiliares. Estos hallazgos resaltan la necesidad del desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías y materiales diseñados específicamente para este tipo de motor híbrido.

Palabras clave: Hidrógeno, Motor de Combustión Interna Automotriz, Eficiencia Térmica, Emisiones Contaminantes.

Palabras clave: Hidrógeno, Motor de combustión interna automotriz, Eficiencia térmica, Emisiones contaminantes.