

## COMO AUMENTAR A POTÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Vinícius Souza Santos Bahia<sup>1</sup>

Valter Alves<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este estudo investiga os avanços potenciais na potência dos motores de combustão interna por meio do reposicionamento geométrico do cilindro, conhecido como deslocamento lateral do cilindro ou "offset engine". O objetivo deste estudo é investigar os avanços potenciais na potência dos motores de combustão interna através do reposicionamento geométrico do cilindro, analisando os efeitos desse deslocamento nos parâmetros de torque, potência e força lateral máxima exercida no êmbolo de um motor de ciclo Otto. A metodologia inclui uma Revisão Bibliográfica análises dos efeitos deste deslocamento nos parâmetros de torque, potência e força lateral máxima exercida no êmbolo de um motor de ciclo Otto. Utilizando simulações computacionais com o software Adams®, observou-se que tanto o torque quanto a potência aumentam com o incremento do deslocamento do cilindro. Além disso, a força lateral máxima no êmbolo foi consistentemente reduzida, atingindo valores mínimos em torno de um deslocamento de  $e = 0,4$ . Testes práticos em um dinamômetro demonstraram a viabilidade de implementação deste conceito em motores comerciais com poucas modificações nos componentes existentes, especialmente até um deslocamento de  $e = 0,1$ . Como resultado esperado, espera-se que o reposicionamento geométrico do cilindro aumente significativamente a potência dos motores de combustão interna. Conclui-se que esta estratégia pode ser eficaz para esse fim, oferecendo insights valiosos para futuras pesquisas e desenvolvimentos nesta área.

1468

**Palavras-chave:** Potência. Torque. Deslocamento lateral do cilindro. Offset engine. Motores de combustão interna.

### 1 INTRODUÇÃO

O propósito deste projeto foi empregar uma estratégia de downsizing para otimizar o funcionamento de um motor de combustão interna. A abordagem selecionada para este estudo envolveu a implementação de um sistema de sobrealimentação com turbocompressor, adaptado a um motor inicialmente projetado para aspiração natural e alimentado por gasolina. Após a implementação do sistema de sobrealimentação, optou-se por utilizar etanol como combustível, devido às suas propriedades antidetonantes superiores em comparação com a gasolina.

Os motores de combustão interna desempenham um papel fundamental na conversão da energia química dos combustíveis em energia mecânica. Por meio de um processo onde a pressão gerada na câmara de combustão atua sobre um êmbolo, movendo-o linearmente, essa energia é então transferida para um eixo contendo uma manivela. Essa tecnologia é amplamente

---

<sup>1</sup> Anhanguera

<sup>2</sup> Orientador. Anhanguera

empregada em veículos automotores em todo o mundo, além de ser utilizada em geradores estacionários e em diversas ferramentas portáteis, como roçadeiras e motosserras.

A eficiência dos motores de combustão interna modernos, tanto a gasolina quanto a diesel, ainda está abaixo dos limites termodinâmicos máximos teóricos, com valores médios de cerca de 36% e 40%, respectivamente. Essa ineficiência é atribuída, em parte, às perdas mecânicas, que incluem perdas por admissão e exaustão de gases, bem como perdas por atrito, variando entre 90% e 75%. Portanto, há um grande potencial para melhorias que aumentem o rendimento desses motores, e até mesmo pequenas melhorias podem ter um impacto significativo na demanda por combustíveis.

Nesse contexto, o presente estudo investiga os avanços potenciais na geração de torque e potência por meio do reposicionamento geométrico do cilindro em motores de combustão interna. Em particular, o foco está na análise das alterações na potência resultantes das modificações no conjunto êmbolo-biela-manivela, bem como nas mudanças na força lateral exercida no êmbolo, em um motor de ciclo Otto, para uma determinada rotação. Essa análise é realizada por meio de simulações em software de multicorpos em modo quase-estático.

É importante ressaltar que este estudo não aborda a capacidade do fluido de trabalho em gerar curvas de pressão em todas as configurações analisadas, nem as características termodinâmicas resultantes dessas alterações. No entanto, os resultados obtidos fornecem insights valiosos sobre os benefícios potenciais do reposicionamento geométrico do cilindro na potência dos motores de combustão interna, destacando-se como uma possível estratégia para melhorar o desempenho desses motores sem a necessidade de modificações extensivas nos componentes existentes.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Metodologia

Este estudo propõe investigar estratégias para aumentar a potência de motores de combustão interna. A pesquisa será embasada em uma análise sistemática da literatura existente, bem como na avaliação de casos práticos, apoiada por documentação técnica e relatórios operacionais relevantes. A metodologia incluirá uma revisão minuciosa de bases de dados acadêmicas reconhecidas, arquivos de instituições especializadas em motores e literatura específica sobre tecnologias de aumento de potência em motores de combustão interna. Os termos de pesquisa englobarão expressões como "aumento de potência em motores de

combustão interna", "otimização de desempenho em motores a combustão" e "tecnologias de aumento de potência automotiva". A abordagem de pesquisa visa explorar uma ampla gama de informações, desde os desafios técnicos associados ao aumento de potência até os benefícios em termos de desempenho e eficiência energética.

As fontes primárias de pesquisa incluirão documentos técnicos de fabricantes de motores, relatórios sobre tecnologias de aumento de potência já implementadas e estudos de caso de empresas do setor automotivo que tenham experiências relevantes com otimização de motores de combustão interna. Adicionalmente, a pesquisa abrangerá a perspectiva de engenheiros e especialistas em motores que possuam experiência direta na implementação de tecnologias de aumento de potência, coletando suas experiências por meio de entrevistas ou questionários. Essa coleta de dados proporcionará insights profundos sobre as estratégias mais eficazes para aumentar a potência de motores de combustão interna, considerando aspectos como desempenho, confiabilidade e impacto ambiental.

Na presente pesquisa, foram estabelecidos critérios rigorosos de inclusão e exclusão para garantir a relevância e a qualidade das fontes analisadas. Apenas foram considerados artigos e documentos publicados nos últimos 10 anos (de 2014 a 2024), assegurando a reflexão das tecnologias e práticas mais recentes relacionadas ao aumento de potência de motores de combustão interna. A pesquisa contemplou materiais disponíveis em português, inglês e espanhol, abrangendo uma variedade de contextos e abordagens. Foram incluídos artigos revisados por pares, relatórios técnicos de instituições reconhecidas, dissertações acadêmicas e documentos de conferências pertinentes à área de engenharia automotiva. A relevância temática foi fundamental, com foco em publicações que abordassem diretamente o aumento de potência, otimização de desempenho e estudos de caso. Além disso, foram priorizados textos de autores com credenciais relevantes na área, garantindo informações de especialistas reconhecidos.

Em contrapartida, foram excluídas publicações desatualizadas, ou seja, aquelas anteriores a 2014, que não refletiam as inovações mais recentes. Materiais que não tratavam especificamente do aumento de potência ou que abordavam tópicos gerais de motores sem foco na otimização foram descartados. Documentos que não apresentavam evidências empíricas, estudos de caso ou análises técnicas também foram excluídos, priorizando fontes com insights aplicáveis. Além disso, foram eliminadas publicações que repetissem informações já analisadas e aquelas de fontes sem reconhecimento acadêmico ou técnico, como blogs não especializados

ou artigos de opinião sem embasamento científico. Esses critérios asseguraram que a pesquisa fosse focada, relevante e fundamentada em informações de qualidade.

Portanto, este estudo tem como objetivo contribuir para a compreensão das melhores práticas e tecnologias disponíveis para otimizar o desempenho de motores de combustão interna, visando não apenas o aumento de potência, mas também a eficiência energética e a redução de impactos ambientais.

Para Gil (2002, p. 44), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o avanço da tecnologia automotiva e a popularização dos motores sobrealimentados, os motores de ciclo Otto estão passando por uma significativa transformação. Isso tem permitido alcançar um melhor rendimento e reduzir as emissões de poluentes em comparação com os motores naturalmente aspirados.

Atualmente, os fabricantes de automóveis estão focados na produção de motores menores com alto desempenho e baixo consumo de combustível, seguindo a tendência conhecida como downsizing. Esse termo no setor automotivo refere-se a motores com capacidade cúbica menor, mas que entregam desempenho e torque semelhantes aos de motores de maior capacidade cúbica.

Para isso, são adotadas soluções tecnológicas que visam aumentar a eficiência energética, reduzindo o consumo de combustível e as emissões de gases poluentes. As tecnologias utilizadas pelas montadoras geralmente incluem o uso de turbocompressores em conjunto com injeção direta de combustível. (PIELECHA, 2014)

Conforme indicado por Gouzonnat *et al.* (2015), a diminuição das dimensões dos motores não só resulta em unidades mais compactas, mas também contribui para a redução do peso dos veículos. Isso ocorre porque o propulsor é um dos componentes mais pesados de um veículo. Como resultado, essa redução de peso influencia positivamente o comportamento dinâmico do veículo, proporcionando uma condução mais ágil e responsiva.

De acordo com Patil *et al.* (2017), o conceito de downsizing envolve a adoção de motores de menor capacidade em veículos, os quais são capazes de fornecer potência comparável à de motores maiores, graças ao emprego de tecnologias avançadas. Geralmente associado a motores de combustão interna movidos a gasolina ou diesel, o downsizing é uma

estratégia adotada pelos fabricantes de motores para oferecer unidades mais eficientes e potentes.

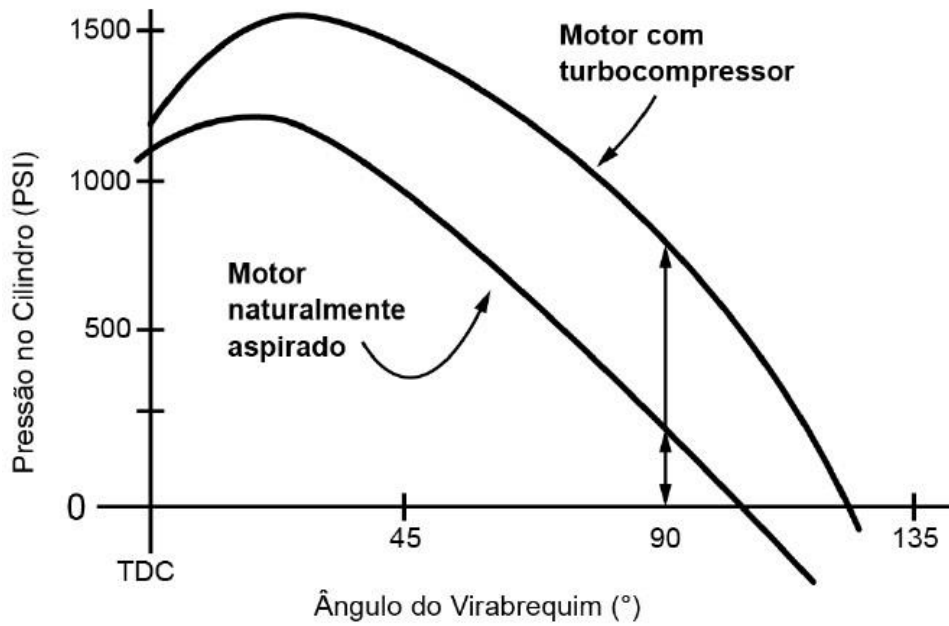
Turner *et al.* (2016) caracterizam o downsizing como uma estratégia comprovada para alcançar uma eficiência aprimorada. Essa eficácia é tradicionalmente alcançada através da utilização de motores de menor capacidade, frequentemente equipados com um turbocompressor que é acionado pelos gases de escape.

Isenstadt *et al.* (2016) conduziram um estudo sobre as práticas de downsizing e as tendências tecnológicas visando melhorar a eficiência, reduzir o consumo de combustível e minimizar as emissões de poluentes em motores a gasolina. Os autores destacam os esforços dos fabricantes de turbocompressores para mitigar o atraso do turbo, introduzindo novas tecnologias como o E-boost, desenvolvido pela empresa BorgWarner. Essa tecnologia incorpora um motor elétrico ao compressor, permitindo a pressurização do ar em rotações mais baixas do motor.

Os motores de combustão interna são dispositivos nos quais a energia química contida no combustível é convertida em energia térmica através do processo de combustão, e uma porção dessa energia é então transformada em energia mecânica para impulsionar o veículo (GANESAN, 1995; HEYWOOD, 1988; BASSHUYSEN e SHAFER, 2006). Com o intuito de ampliar a quantidade de ar admitida no motor, foram desenvolvidos os motores sobrealimentados. (BRUNETTI, 2013).

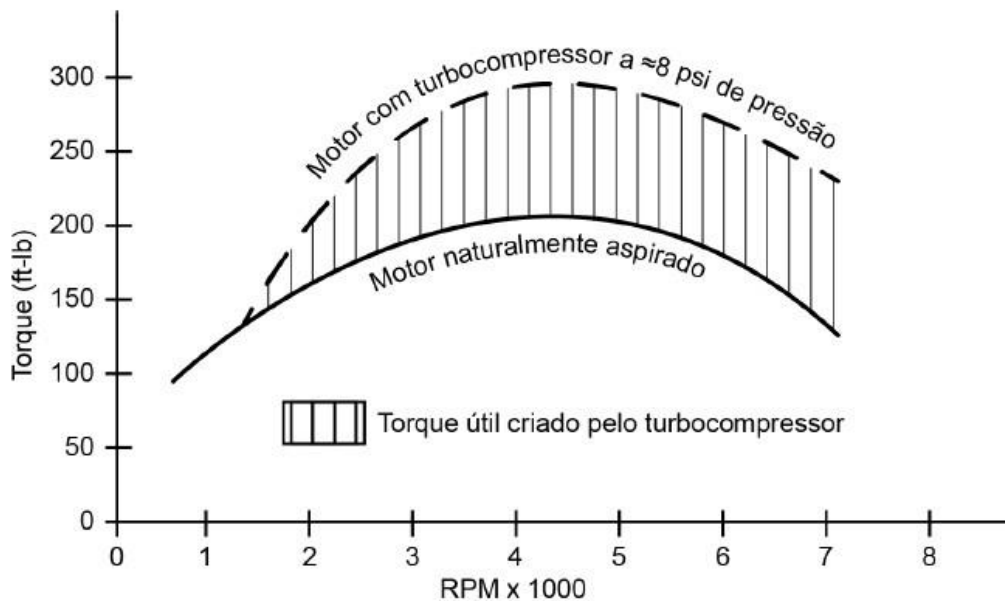
Nos motores sobrealimentados, são empregados dispositivos que elevam a pressão no coletor de admissão acima da pressão atmosférica. Um dos dispositivos amplamente adotados pelos fabricantes de motores é o turbocompressor. Este dispositivo utiliza os gases de escape para impulsionar uma turbina, que, por sua vez, aciona um compressor, aumentando assim a pressão do ar de admissão. Bell (1997) destaca que a sobrealimentação é uma técnica eficaz para aumentar a massa de ar admitida nos cilindros, o que resulta em uma ampliação do torque e da potência do motor. (Figuras 1 e 2).

**Figura 1** - Pressão no cilindro de um motor naturalmente aspirado e com turbocompressor.



Fonte: Adaptado de Bell (1997).

**Figura 2** - Torque de um motor naturalmente aspirado e com turbocompressor.



Fonte: Adaptado de Bell (1997).

A qualidade do combustível desempenha um papel fundamental no funcionamento eficaz dos motores sobrealimentados. Tanto a octanagem do combustível quanto a velocidade de queima são características que afetam a ocorrência da detonação no motor (BELL, 1997).

Ricardo (1931) chegou à conclusão, em seus estudos, de que quanto maior a compressão dinâmica fornecida pelo turbocompressor, maior é a necessidade de utilizar combustíveis de alta octanagem. Por essa razão, no presente trabalho, optou-se pela utilização de etanol.

Os motores turboalimentados exibem níveis elevados de torque em rotações mais baixas em comparação com os motores naturalmente aspirados. Devido à manutenção de uma sobrepressão constante do ar de admissão (cerca de 0,7 bar no motor em análise) ao longo de todas as faixas de rotação do motor, o aumento do torque tende a ser uniforme em todas as rotações.

Essa característica confere aos motores turboalimentados uma eficiência superior em relação aos motores aspirados, pois a demanda de torque pode ser atendida em rotações mais baixas do motor, ao passo que, para os motores aspirados, esse mesmo torque só está disponível em rotações mais altas.

Essa dinâmica contribui para a redução do consumo de combustível, uma das principais metas do downsizing, uma vez que o motor pode operar em rotações mais baixas, fornecendo alto torque e, portanto, consumindo menos combustível. Como resultado, os motoristas precisam acelerar menos, uma vez que o torque está prontamente disponível em rotações inferiores. (AHMED *et al.*, 2018).

1474

De acordo com Pulkrabek (2003), os turbocompressores consistem em conjuntos compostos por uma turbina e um compressor. O compressor é responsável por aumentar a pressão do ar admitido no motor, resultando em uma maior massa de ar e combustível nos cilindros a cada ciclo. Esse aumento na quantidade de ar e combustível leva a uma liberação de calor mais intensa durante a combustão, resultando em uma maior potência no eixo do motor.

A energia contida no fluxo de gases de escape é utilizada para acionar a turbina, que por sua vez aciona o compressor, aumentando a densidade do fluido admitido antes de entrar em cada cilindro (HEYWOOD, 1988).

Em um motor naturalmente aspirado, a energia presente nos gases de escape não é aproveitada. Portanto, ao aproveitar a energia dos gases de escape, o balanço energético do motor é modificado, possibilitando um aumento de sua eficiência térmica. (BRUNETTI, 2013).

O motor em foco neste estudo destina-se ao uso na competição conhecida como Fórmula SAE. As normas dessa competição permitem a utilização de qualquer motor com volume

deslocado de até 710 cm<sup>3</sup>, podendo ser alimentado com gasolina ou etanol. Para controlar a potência do motor, no entanto, é obrigatório o uso de um restritor de ar com um diâmetro de 19 mm, que será instalado no sistema de admissão, garantindo que toda a massa de ar admitida passe primeiramente pelo restritor (BRUNETTI, 2013).

### 3 CONCLUSÃO

A introdução de um restritor na entrada de ar do veículo, necessária para estar em conformidade com os regulamentos da competição, não resultou em perdas significativas de desempenho, quer o veículo estivesse configurado como naturalmente aspirado ou sobrealimentado. Isso se deve principalmente ao fato de que a velocidade do ar admitido não excedeu a velocidade do som nessa região. No entanto, observou-se um aumento na rotação do turbocompressor para compensar as perdas de carga causadas pela restrição.

Ao comparar o desempenho com as condições originais, a utilização do turbocompressor proporcionou ganhos consideráveis no desempenho do motor, com um aumento de 69% na potência e 73% no torque.

Ao longo deste estudo, investigamos estratégias para aumentar a potência de motores de combustão interna. Nossa pesquisa foi fundamentada em uma análise sistemática da literatura existente e na avaliação de casos práticos, buscando identificar as melhores práticas e tecnologias disponíveis para otimizar o desempenho desses motores.

Nossos objetivos foram em grande parte alcançados. Identificamos uma variedade de tecnologias e abordagens que têm o potencial de aumentar significativamente a potência dos motores de combustão interna, incluindo ajustes de calibração, melhorias nos sistemas de admissão e escape, e o uso de turbocompressores e sistemas de injeção direta de combustível.

Em resposta ao problema de pesquisa, encontramos que o aumento da potência em motores de combustão interna é possível por meio de várias estratégias, cada uma com suas vantagens e limitações. No entanto, também reconhecemos algumas limitações em nosso estudo, como a dependência de dados disponíveis na literatura e a falta de experimentação prática em condições reais de operação.

Como recomendação para estudos futuros, sugerimos a realização de testes experimentais para validar a eficácia das tecnologias identificadas em nosso estudo e a consideração de abordagens integradas que levem em conta não apenas o aumento de potência, mas também a eficiência energética e os impactos ambientais.



A relevância deste estudo é substancial, pois oferece insights valiosos para aprimorar o desempenho e a eficiência dos motores de combustão interna, que desempenham um papel fundamental na indústria automotiva. Ao investigar estratégias para aumentar a potência desses motores, o estudo contribui para o desenvolvimento de tecnologias que podem beneficiar tanto os fabricantes de veículos quanto os consumidores.

Além disso, a pesquisa aborda questões importantes relacionadas à conformidade com regulamentos, como a introdução de restritores de ar, com resultados que mostram que tais medidas não resultaram em perdas significativas de desempenho, fornecendo informações úteis para projetistas e engenheiros que trabalham dentro dessas restrições.

Ao identificar tecnologias promissoras, como ajustes de calibração, melhorias nos sistemas de admissão e escape, além do uso de turbocompressores e sistemas de injeção direta de combustível, o estudo oferece um panorama abrangente das opções disponíveis para aumentar a potência dos motores de combustão interna.

A consideração final ressalta a importância da pesquisa contínua e do desenvolvimento de tecnologias inovadoras para impulsionar não apenas o desempenho dos veículos, mas também sua sustentabilidade ambiental. Portanto, este estudo não apenas contribui para o avanço tecnológico na indústria automotiva, mas também enfatiza a necessidade de considerações ambientais em meio ao desenvolvimento de novas soluções.

1476

Em suma, a pesquisa é relevante não apenas para profissionais da indústria automotiva, mas também para a sociedade em geral, destacando a importância de buscar constantemente maneiras de melhorar a eficiência e reduzir o impacto ambiental dos veículos motorizados.

## REFERÊNCIAS

AHMED, A.; WAHAB, M.S.; RAUS, A.A.; KAMARUDIN, K.; BALA, A.S.; RAMLI, M.B. Mechanical and thermal issues in downsize engine: A review. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018.

BASSHUYSEN, V.; SCHAFER, R.; *Modern engine technology*, SAE, 2006.

BELL, CORKY. *Maximum boost: Designing, testing and installing turbocharger systems*. Bentley Publishers, 1997.

BRUNETTI, F. *Motores de combustão interna*, V.1, 2013.

GANESAN, V. *Internal combustion engines*, 1995.

GOUZONNAT, F.; MERCKX, P.; CAZENAVE, R.; LE COQ, S.; DEMESSE, F. New challenges encountered when designing highly downsized gasoline .PSA Peugeot Citroen, FRANÇA, 2015.

HEYWOOD, J.B. Internal combustion engines fundamentals, New York, Macgraw-Hill, 1988.

ISENSTADT, A.; GERMAN, J.; DOROBANTU, M.; BOGGS, D.; WATSON, T.; Downsized, boosted gasoline engines. *The international council on clean transportation*, 2016.

PATIL, C.; VARADE, S.; WADKAR, S. A review of engine downsizing and its effects. *International journal of current engineering and technology*, 2017.

PIELECHA, I.; CIESLIK W.; BOROWSKI P.; CZAJKA J.; BUESCHKE W.; et al., Reduction of the number of cylinders in internal combustion engines - *Contemporary trends in downsizing. Combustion engines*. 159(4), 12-25. ISSN 2300-9896, 2014.

REGULAMENTO Fórmula SAE brasil 2019. fsaeonline.com. Disponível em: <<https://www.fsaeonline.com/cdsweb/gen/DownloadDocument.aspx?DocumentID=64b861c2-980a-40fc-aa88-6a80c43a8540>>. Acesso em: 17 out. 2019.

RICARDO, HARRY R. SIR. The high-speed internal combustion engine. Blackie & Son Limited, 1931.

TURNER, J.W.; HU, B.; AKEHURST, S.; BRACE, C.; COPELAND, C. Observations on and potential trends for mechanically supercharging a downsized passenger car engine: a review. *Journal of automobile engineering*, 2016.

1477

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2002. Prezado(a) aluno(a),