

COLÉGIO SÃO LUÍS

**ENSINO MÉDIO
CURSO DE METODOLOGIA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

FELIPE BUONO LEHOCZKI

Análise de desempenho, sustentabilidade e eficiência de motores à combustão distribuídos em V e motores elétricos por indução

**São Paulo
2025**

FELIPE BUONO LEHOCZKI

Análise de desempenho, sustentabilidade e eficiência de motores à combustão distribuídos em V e motores elétricos por indução

Artigo apresentado como requisito de aprovação em “Estudos e Pesquisas Supervisionados”, na 2ª série do EM do Colégio São Luís

Orientador: Prof. André Leitão, professor de Física EMI

São Paulo, 202

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho ao Bocada Futebol Clube que me deu o suporte necessário durante todos os momentos de crise e me ajuda diariamente a me tornar um ser humano melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente o meu professor orientador André Leitão, que me orientou e ajudou durante toda essa trajetória;

Agradeço aos meus amigos pelos momentos de suporte ao longo dessa jornada;

Agradeço a minha família por me apoiar em todos os momentos;

Agradeço ao meu clube, Bocada Futebol Clube, que logo se profissionalizará.

"I live my life a quarter-mile at a time"

Paul Walker, 2005.

RESUMO

A pesquisa tem como objetivo principal comparar motores a combustão com cilindros dispostos em configuração em “V” e motores elétricos por indução, analisando seus níveis de eficiência, desempenho e sustentabilidade. O estudo busca compreender as vantagens e limitações de cada sistema de propulsão, considerando fatores técnicos, ambientais e socioculturais que influenciam a evolução da engenharia automotiva. As principais referências utilizadas foram os livros Motores de Combustão Interna – Vol. 1, de Franco Brunetti, e Motores Elétricos e Acionamentos: Série Tekne, de Frank Petruzella, que serviram de base teórica para o desenvolvimento da análise comparativa. Por meio de métodos qualitativos e quantitativos, foi possível observar que os motores elétricos por indução alcançam eficiência superior, superando 90% em conversão energética, enquanto os motores a combustão em V, embora possuam relevância histórica e cultural e se destaquem em aplicações de alta potência, apresentam maior perda de energia e emissões poluentes significativas. Conclui-se, portanto, que os motores elétricos por indução representam uma alternativa tecnológica mais sustentável e eficiente, consolidando-se como o caminho mais promissor para o futuro da mobilidade automotiva.

Palavras-chave: Motores a combustão. Motores elétricos. Desempenho, eficiência e sustentabilidade.

ABSTRACT

The main objective of this research is to compare combustion engines with cylinders arranged in a "V" configuration and induction electric motors, analyzing their levels of efficiency, performance, and sustainability. The study seeks to understand the advantages and limitations of each propulsion system, considering technical, environmental, and sociocultural factors that influence the evolution of automotive engineering. The main references used were the books "Internal Combustion Engines – Vol. 1" by Franco Brunetti and "Electric Motors and Drives: Tekne Series" by Frank Petruzella, which served as the theoretical basis for the comparative analysis. Through qualitative and quantitative methods, it was possible to observe that induction electric motors achieve superior efficiency, exceeding 90% in energy conversion, while V-shaped combustion engines, although historically and culturally relevant and excelling in high-power applications, present greater energy loss and significant pollutant emissions. It is therefore concluded that electric induction motors represent a more sustainable and efficient technological alternative, consolidating themselves as the most promising path for the future of automotive mobility.

Keywords: Intern combustion engines; electric engines; performance, efficiency and sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento geral do motor a combustão em V.....	9
Figura 2 – Funcionamento do motor elétrico por indução.....	10
Figura 3 – Configuração de um motor a combustão em V.....	19
Figura 4 – Funcionamento de um motor a combustão pelo ciclo de 4 tempos... 	20
Figura 5 – Esquema básico de um motor elétrico por indução.....	21
Figura 6 – Sistema de frenagem de um carro elétrico.....	22
Figura 7 – Dodge Challenger Hellcat 2025.....	29
Figura 8 – Motor de um Dodge Challenger Hellcat 2024 direto do capô.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
2 MOTORES A COMBUSTÃO EM V E MOTORES ELÉTRICOS POR INDUÇÃO...14	14
2.1 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PROPULSÃO.....	14
2.2 FUNCIONAMENTO DOS MOTORES A COMBUSTÃO EM V	17
2.3 FUNCIONAMENTO DOS MOTORES ELÉTRICOS POR INDUÇÃO	17
2.4 COMPARAÇÃO INICIAL: EFICIÊNCIA, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE.....	19
2.5 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS	20
2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS E CICLO DE VIDA	20
2.7 RELEVÂNCIA SOCIOCULTURAL DOS MOTORES A COMBUSTÃO.....	20
3 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DOS MOTORES ELÉTRICOS POR INDUÇÃO E MOTORES A COMBUSTÃO EM V... 21	21
3.1 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO INDICADOR CENTRAL NA COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROPULSÃO	21
3.2 CARACTERÍSTICAS E LIMITAÇÕES DOS MOTORES A COMBUSTÃO EM V DIANTE DOS DESAFIOS DA EFICIÊNCIA	22
3.3 MOTORES ELÉTRICOS POR INDUÇÃO: FUNDAMENTOS ELETROMAGNÉTICOS E VANTAGENS OPERACIONAIS	23
3.4 DIFERENÇAS NO DESEMPENHO DINÂMICO: TORQUE, RESPOSTA E EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO	24
3.5 SUSTENTABILIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS NO CICLO DOS MOTORES.....	25
3.6 ASPECTOS ECONÔMICOS, SOCIAIS E CULTURAIS DA ADOÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS E A COMBUSTÃO	26
3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE EFICIÊNCIA, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE	27
CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS	29

INTRODUÇÃO

A história da engenharia automotiva é marcada por constantes avanços na busca por maior eficiência, desempenho e sustentabilidade. Nesse contexto, destacam-se dois marcos tecnológicos fundamentais: os motores a combustão interna com configuração em “V”, especialmente os V8, e os motores elétricos por indução, baseados em princípios eletromagnéticos desenvolvidos desde o final do século XIX. Ambos representam momentos distintos, porém complementares, no desenvolvimento da propulsão veicular moderna, refletindo diferentes concepções sobre energia, engenharia e mobilidade.

Os motores a combustão em V, conforme explica Brunetti (2018), foram desenvolvidos com o propósito de otimizar a potência e o equilíbrio dinâmico das máquinas térmicas. A disposição dos cilindros em dois blocos inclinados forma um ângulo semelhante à letra “V”, o que permite uma configuração mais compacta e equilibrada, reduzindo vibrações e melhorando a distribuição de torque. Dentro dessa categoria, o motor V8 consolidou-se como símbolo de força e desempenho ao longo do século XX, sendo amplamente utilizado por montadoras como Ford, Chevrolet, Ferrari e Lamborghini. O primeiro V8 produzido em série surgiu em 1914, pela Cadillac, e rapidamente se tornou referência em veículos esportivos e de luxo. Além do aspecto técnico, o motor V8 assumiu um papel cultural e simbólico, associado à liberdade, à sonoridade característica e ao prazer de dirigir — elementos que o tornaram um ícone da cultura automobilística mundial (MARTINS, 2020).

Contudo, a predominância dos motores a combustão começou a ser questionada a partir da segunda metade do século XX, em razão das crises energéticas, da poluição atmosférica e das crescentes exigências ambientais. Essas transformações abriram espaço para o avanço de tecnologias alternativas, entre elas os motores elétricos por indução, que passaram a ganhar destaque como uma resposta sustentável e tecnologicamente eficiente à dependência dos combustíveis fósseis (PETRUZELLA, 2016).

Os motores elétricos por indução, descritos inicialmente por Nikola Tesla e posteriormente aprofundados por Petruzella (2016), funcionam a partir do princípio da indução eletromagnética, no qual um campo magnético girante, criado no estator,

induz correntes elétricas no rotor, gerando torque e movimento. Essa conversão direta de energia elétrica em energia mecânica apresenta eficiência muito superior à dos motores a combustão, frequentemente ultrapassando 90% de rendimento energético (IEA, 2022). Além disso, a ausência de processos explosivos e de sistemas complexos de lubrificação reduz o desgaste mecânico e os custos de manutenção, tornando esses motores mais confiáveis, silenciosos e adequados às exigências ambientais contemporâneas.

Dessa forma, a trajetória dos motores V8 e dos motores elétricos por indução ilustra duas eras distintas da mobilidade automotiva. Os motores a combustão representam a era da potência, do som e da emoção mecânica, enquanto os motores elétricos simbolizam a era da eficiência, da tecnologia limpa e da sustentabilidade. Compreender a evolução histórica e técnica desses dois sistemas é essencial para analisar os desafios e as oportunidades da transição energética atual, que busca conciliar tradição, inovação e responsabilidade ambiental no futuro da mobilidade.

Portanto, analisar motores elétricos em comparação com motores a combustão consiste em avaliar, explicar e realizar uma análise dos principais fatores que envolvem ambos os sistemas de propulsão. Embora possuam funcionamentos completamente distintos, a comparação com base em indicadores de sustentabilidade, eficiência e desempenho permite uma visão mais ampla e aprofundada sobre suas características e potencialidades.

Para o início deste projeto, foram selecionados três livros de autores distintos com o objetivo de compreender melhor o funcionamento dos dois tipos de motores. O primeiro, intitulado *“Motores de Combustão Interna – Vol. 1”*, de Franco Brunetti, apresenta uma explicação precisa sobre o funcionamento dos motores a combustão interna. De forma resumida, esse tipo de motor opera por meio de quatro etapas fundamentais: admissão, compressão, combustão e escape.

Inicialmente, ocorre a admissão, quando o pistão se encontra no ponto morto superior.

A válvula de admissão se abre e o pistão se desloca para baixo, puxado pelo virabrequim, fazendo com que uma mistura de ar e vapor de gasolina entre na câmara de combustão, que está em baixa pressão. Na etapa seguinte, denominada compressão, o pistão atinge o ponto morto inferior e a válvula de admissão se fecha, iniciando-se a compressão da mistura à medida que o pistão sobe. A compressão se

completa quando o pistão alcança novamente o ponto mais alto. Nesse momento, ocorre a combustão: uma faísca elétrica gerada pela vela de ignição inflama a mistura comprimida, provocando uma explosão que empurra o pistão para baixo. Por fim, na fase de escape, os gases resultantes da combustão são eliminados da câmara. Isso ocorre com a abertura da válvula de escape e a subida do pistão, que expulsa os resíduos da queima.

Figura 1 – Funcionamento geral do motor a combustão em V



Disponível em: <https://motor1.uol.com.br/news/> Acesso em 9 de abr. 2025 as 20:48.

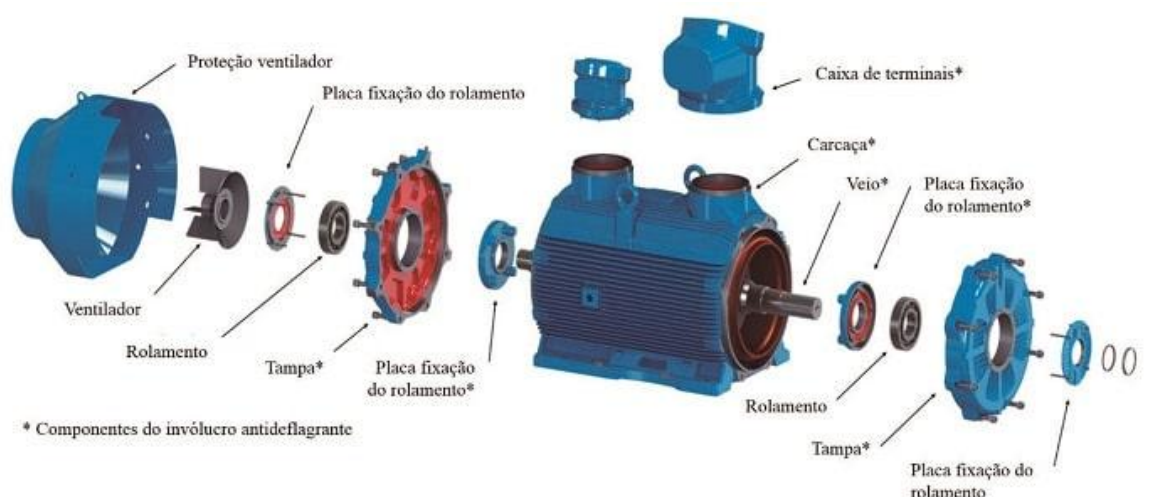
A seguir, foi analisado o livro *“Motores Elétricos e Acionamentos: Série Tekne”*, de Frank Petruzella. Esta obra trata do funcionamento dos motores elétricos e de suas diversas aplicações. Ainda que não tenha como foco principal o desempenho ou os aspectos relacionados à sustentabilidade dos motores elétricos, o livro destaca a tendência crescente, na engenharia mecânica, de substituição dos motores a combustão em V por motores elétricos, sejam eles do tipo por indução ou de outros modelos.

Segundo Petruzella, a eficiência dos motores elétricos supera a dos motores a combustão, principalmente devido ao avanço das tecnologias nas áreas de engenharia elétrica e mecânica. A conversão de energia elétrica em energia cinética

tem se mostrado mais eficaz do que aquela promovida por combustíveis fósseis. Além disso, o autor sugere que os motores elétricos estão em constante desenvolvimento e cada vez mais próximos de alcançar, ou até mesmo superar, o desempenho dos motores a combustão em V nas próximas décadas. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de uma comparação científica e metodológica entre essas duas categorias de motores.

Para complementar esse estudo, torna-se fundamental explicar o funcionamento básico do motor elétrico por indução. Esse tipo de motor opera com base no princípio da indução eletromagnética. Quando a corrente alternada trifásica percorre os enrolamentos do estator, forma-se um campo magnético girante. Esse campo atravessa o entreferro e alcança o rotor, induzindo correntes elétricas em suas barras condutoras devido à variação do fluxo magnético. As correntes induzidas no rotor interagem com o campo magnético do estator, gerando um torque que impulsiona o rotor no mesmo sentido do campo girante. Contudo, o rotor nunca atinge exatamente a mesma velocidade do campo, o que é essencial para que o processo de indução continue ocorrendo. Esse fenômeno é conhecido como escorregamento. A partir dessa interação constante, o motor realiza a conversão da energia elétrica em energia mecânica rotacional de forma eficiente, sem necessidade de contato elétrico direto entre estator e rotor.

Figura 2: Funcionamento de um motor elétrico por indução



Disponível em: https://www.turbosquid.com/pt_br/3d-models/3d-v12-engine/988560. Acesso em 9 de abr. 2025 as 20:33.

Figura 2 – Motor elétrico por indução. Fonte: Turbo Squid, 2018.

Por fim, foi selecionado o livro JORDAN, H. E. Energy-efficient electric motors and their applications. New York: Marcel Dekker, 1996. Diferentemente das obras anteriores, essa publicação aprofunda-se nos aspectos técnicos, nas aplicações práticas e, sobretudo, na eficiência energética e na sustentabilidade relacionadas ao uso de motores elétricos. Com base em dados concretos e estudos de caso, o autor comprova que o motor elétrico representa atualmente a solução mais sustentável do mercado, um entendimento amplamente reconhecido pela comunidade científica e tecnológica. Ao falar de sustentabilidade em motores, não se pode descartar o livro “Sustentabilidade no Setor Automotivo: Motores Híbridos.” De Lucas Rosário Braga Silva e Ana Oliveira, onde esse tema é intensamente discutido.

Segundo os estudos realizados por Souza (2015), as tendências modernas, como veículos com emissões zero e fabricação neutra em carbono, demonstram a importância crescente da sustentabilidade na indústria automotiva. Essas tendências não são impulsionadas apenas pela introdução de regulamentações de emissões mais rígidas ou mesmo cotas, mas também por uma maior conscientização sobre as questões ambientais e de sustentabilidade na sociedade e um crescente interesse dos consumidores por veículos sustentáveis. (SILVA, LUCAS, p2)

No entanto, o foco principal da obra está em discutir o potencial futuro dos motores elétricos. Jordan propõe uma análise prospectiva sobre a possibilidade de que, com o avanço contínuo da tecnologia, esses motores não apenas consolidem sua posição como alternativa ecologicamente superior, mas também ultrapassem os motores a combustão em termos de desempenho. O autor explora como a evolução nos materiais, nos sistemas de controle e no design de componentes pode elevar os motores elétricos a patamares superiores de eficiência, torque, resposta dinâmica e durabilidade. Além disso, a obra apresenta uma explicação técnica e detalhada sobre o funcionamento dos motores elétricos, contribuindo significativamente para uma compreensão mais profunda dos seus princípios operacionais.

Assim, com a leitura dos textos analisados, torna-se possível construir uma base sólida para a compreensão e a comparação crítica entre motores a combustão e motores elétricos. Os motores a combustão em V são amplamente reconhecidos por seu alto desempenho, especialmente em aplicações automotivas de alta potência, enquanto os motores elétricos por indução vêm sendo promovidos como alternativas mais eficientes e sustentáveis. No entanto, ainda há dúvidas sobre qual tecnologia realmente oferece melhor desempenho mecânico em diferentes condições de uso e

se os motores elétricos são de fato mais sustentáveis quando se considera todo o ciclo de vida, incluindo produção, uso e descarte. Diante disso, esta pesquisa busca investigar se os motores elétricos por indução superam os motores a combustão em V em termos de eficiência, desempenho e sustentabilidade ambiental por meio de análises comparativas.

O aumento significativo do peso nos veículos elétricos, decorrente principalmente das baterias de alta capacidade, demanda sistemas de frenagem mais robustos para garantir a segurança veicular. Embora a frenagem regenerativa contribua para a redução do desgaste dos freios tradicionais, situações de emergência ou frenagens intensas exigem maior eficiência dos sistemas hidráulicos. Nesses contextos, o excesso de calor gerado pode comprometer a performance dos freios, fenômeno conhecido como brake fade. Como resposta a essas exigências, fabricantes têm adotado discos maiores, materiais com maior resistência térmica e calibração específica para veículos mais pesados, assegurando a capacidade de frenagem mesmo em condições críticas. De acordo com matéria da CNN Brasil (2023), esses ajustes são necessários porque os carros elétricos podem pesar de 20% a 50% mais que seus equivalentes a combustão, tornando o sistema de freios um ponto crucial no desenvolvimento da segurança automotiva.

O tema geral desta pesquisa insere-se no campo da engenharia automotiva, com foco nas tecnologias de propulsão veicular, as quais representam um dos pilares fundamentais da mobilidade moderna. Dentro desse universo, o objeto de estudo delimita-se à comparação entre duas categorias tecnológicas distintas de motores: os motores a combustão interna em configuração em "V" – nos quais os cilindros são dispostos em dois blocos inclinados que formam um ângulo semelhante à letra "V" originando configurações como V6, V8, V10 e V12 – e os motores elétricos por indução, dispositivos baseados em princípios do eletromagnetismo desenvolvidos por Nikola Tesla e amplamente utilizados nos veículos elétricos atuais devido à sua confiabilidade, durabilidade e relativa simplicidade construtiva.

A escolha deste objeto de estudo justifica-se por diversas razões. Em primeiro lugar, os sistemas de propulsão têm impacto direto não apenas no desempenho dinâmico dos veículos, como aceleração, velocidade máxima e dirigibilidade, mas

também na eficiência energética e, sobretudo, nos índices de sustentabilidade ambiental, temas que vêm ganhando centralidade diante das mudanças climáticas e da crescente pressão por práticas industriais e hábitos de consumo mais responsáveis.

Nesse contexto, torna-se essencial compreender, sob uma perspectiva técnico-científica, as reais vantagens e limitações de cada tipo de motor, não apenas em termos de funcionamento mecânico, mas também considerando o ciclo de vida completo: desde a fabricação (com destaque para a extração de matérias-primas e o processo produtivo), passando pela fase de uso e manutenção, até o descarte ou reaproveitamento dos componentes. Os motores a combustão em V, notoriamente utilizados em veículos de alto desempenho – como o V12 6.5L da Ferrari 812 Superfast ou o V8 5.0L Ford Coyote presente no Mustang GT – são celebrados por sua entrega de potência, sonoridade característica e papel histórico no automobilismo. Por outro lado, os motores elétricos por indução destacam-se pela eficiência superior, resposta instantânea de torque e operação silenciosa, além de prometerem uma menor pegada ambiental quando associados a fontes renováveis de energia elétrica.

Contudo, é importante observar que a produção de baterias de íons de lítio e a demanda por metais raros também trazem impactos ambientais consideráveis, frequentemente negligenciados em análises superficiais. Ao promover uma análise comparativa criteriosa entre esses dois sistemas de propulsão, esta pesquisa busca ir além dos discursos generalistas ou enviesados que muitas vezes permeiam o debate público e até mesmo técnico sobre o futuro da mobilidade. A proposta é investigar, com base em dados quantitativos e qualitativos, quais tecnologias oferecem, de fato, melhores resultados em termos de rendimento energético, desempenho funcional e impacto ambiental em curto, médio e longo prazo.

Por fim, a relevância deste estudo reside em sua capacidade de informar e orientar decisões em diferentes níveis: seja no âmbito da indústria automobilística, que enfrenta uma transição complexa em direção à eletrificação, no meio acadêmico, que precisa formar profissionais capacitados para lidar com essas transformações, ou ainda junto aos consumidores, que cada vez mais desejam compreender o que estão comprando, não apenas em termos de produto, mas também de responsabilidade socioambiental. Através desta investigação, pretende-se contribuir significativamente para o debate sobre o futuro da mobilidade sustentável, auxiliando na construção de

um panorama mais claro e equilibrado sobre os desafios e as possibilidades que cercam os motores a combustão em V e os motores elétricos por indução no século XXI.

Para uma melhor compreensão dos objetos e objetivos da pesquisa, serão utilizados os métodos quantitativo e qualitativo, ambos fundamentados em um amplo levantamento bibliográfico que inclui livros, artigos científicos, textos acadêmicos, pesquisas, vídeos e documentos oficiais. A intenção é embasar teoricamente as análises por meio da diversidade de fontes, abrangendo diferentes épocas, modelos e propostas, com o objetivo de oferecer múltiplas perspectivas sobre o objeto de estudo. Dados, imagens e citações serão incorporados para ilustrar e aprofundar a compreensão do tema pesquisado, que, por sua complexidade — no caso, os motores —, exige uma abordagem cuidadosa, baseada em fontes diversas, confiáveis e representativas, incluindo contribuições de autores e personagens significantes da área, garantindo assim a transparência e completude dos resultados obtidos.

Acredita-se que os motores elétricos por indução não são apenas ambientalmente vantajosos, mas também tecnicamente superiores aos motores a combustão em V, superando-os em eficiência energética, entrega de torque e desempenho em diversas situações. Embora a visão comum destaque apenas a ausência de emissões, esses motores também apresentam menor perda de energia e aceleração mais eficiente. Reconhece-se o uso contínuo dos motores a combustão, especialmente em veículos de alto desempenho, devido à potência, autonomia e infraestrutura existente. No entanto, com os avanços em baterias e sistemas de refrigeração, os motores elétricos por indução tendem a ultrapassar os motores a combustão, consolidando-se como uma alternativa sustentável e eficaz para a mobilidade moderna.

2. MOTORES A COMBUSTÃO EM V E MOTORES ELÉTRICOS POR INDUÇÃO

2.1 Histórico e evolução dos sistemas de propulsão

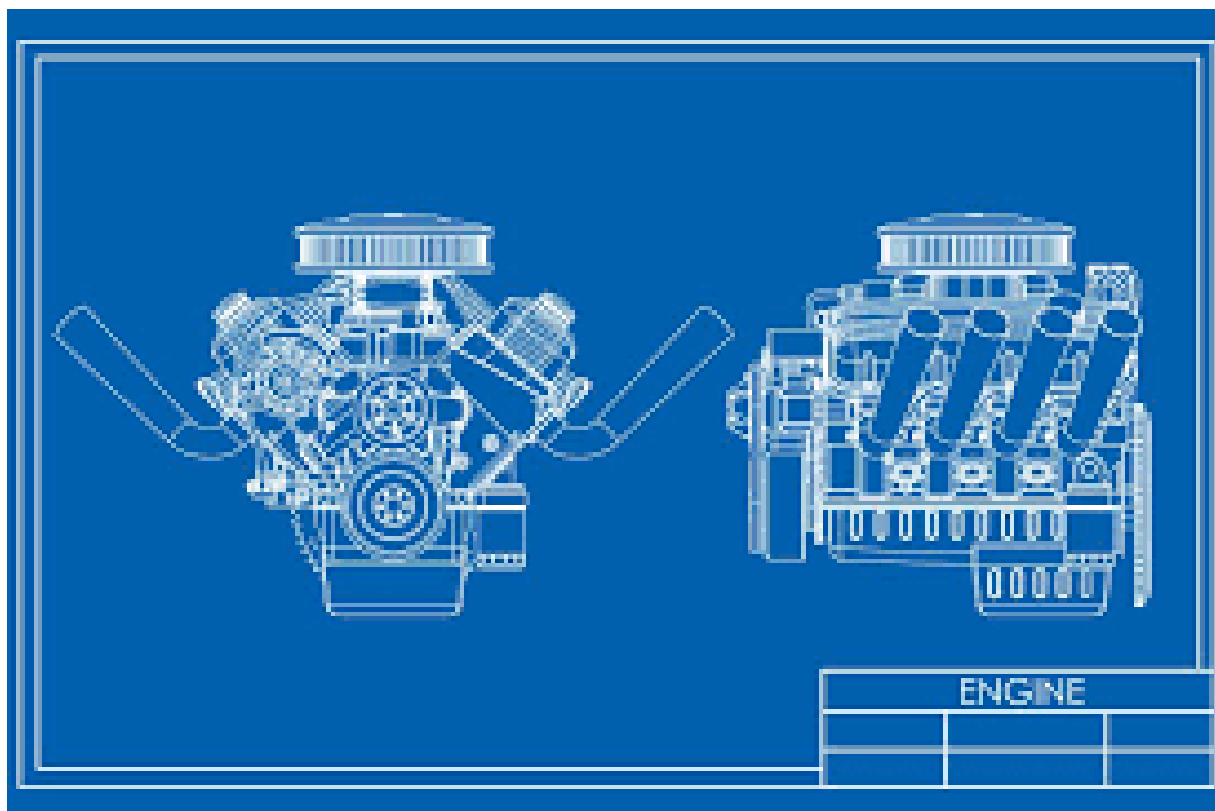
A história da mobilidade automotiva reflete uma busca constante por fontes de energia mais eficientes e sustentáveis. No final do século XIX, três alternativas principais competiam no mercado: motores a vapor, motores elétricos e motores a combustão interna. Os veículos elétricos, em particular, apresentavam vantagens significativas para uso urbano, oferecendo operação silenciosa, manutenção simplificada e ausência de emissões durante o funcionamento (Mom, 2015).

No entanto, a popularização dos combustíveis fósseis e a disponibilidade de petróleo barato levaram à consolidação dos motores a combustão como tecnologia dominante. O sucesso do Ford Model T, lançado em 1908, é emblemático dessa transição: a produção em massa tornou os carros acessíveis e aumentou a infraestrutura de abastecimento, consolidando a combustão interna como padrão global. (Lenz, 2017).

Dentro desse contexto, a arquitetura em V surgiu como solução para otimizar a potência e o equilíbrio mecânico, permitindo a construção de motores compactos, porém de alta performance. Os blocos de cilindros inclinados proporcionam menor vibração e melhor distribuição de torque, características essenciais para aplicações em diversos veículos esportivos, como a *Ferrari 458 Spyder* e de luxo.

Ao longo do século XX, os motores V6, V8 e V12 se tornaram símbolos de desempenho e prestígio, sendo utilizados em competições automobilísticas e em carros icônicos, como Ferrari, Lamborghini e Mustang. Esses motores representam não apenas um avanço técnico, mas também um marco cultural, evidenciando a intersecção entre tecnologia, status e tradição automotiva.

Figura 3 - Configuração de um motor V8



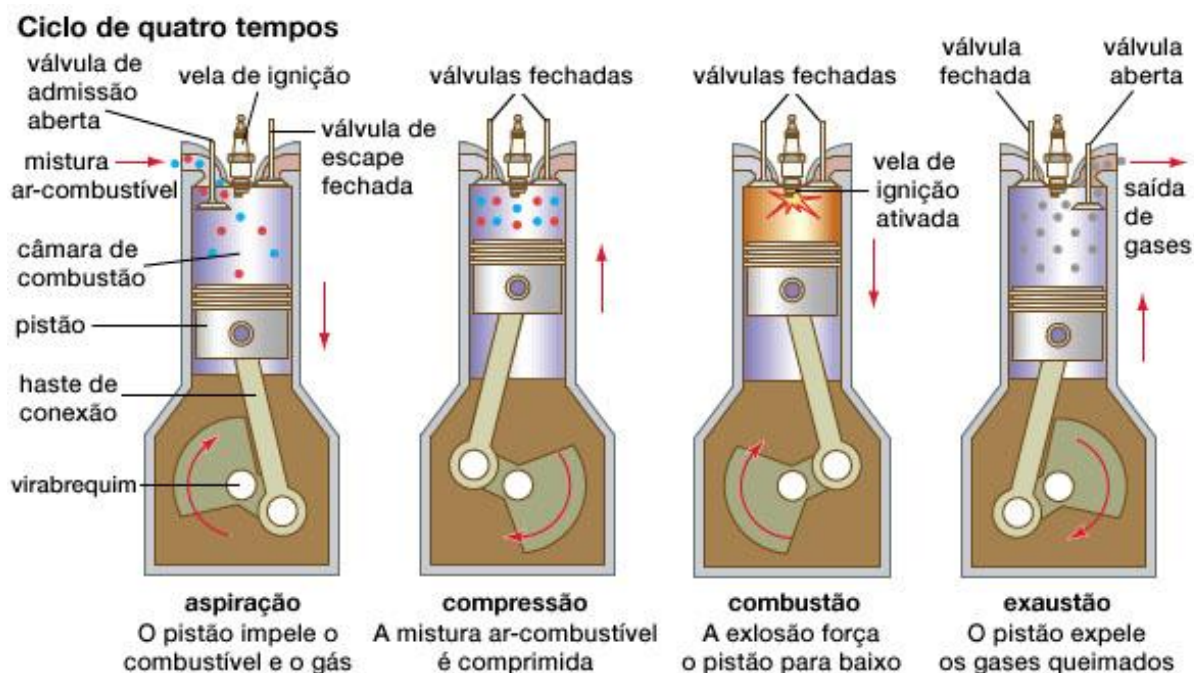
Configuração de um motor V8. Disponível em: <https://www.lenzbrasil.com/2022/05/11/saiba-tudo-sobre-o-idolarado-motor-v8/>. Acesso em 15 de ago. de 2025 às 19:21.

Contudo, a predominância da combustão interna passou a ser questionada a partir da segunda metade do século XX, com crises energéticas, aumento da conscientização ambiental e a emergência de políticas públicas voltadas à redução de emissões. A necessidade de alternativas mais sustentáveis reabriu espaço para a pesquisa em eletrificação, consolidando o motor elétrico como protagonista da mobilidade automotiva e de transporte inovadora em diversas questões do século XXI.

2.2 Funcionamento dos motores a combustão em V

Os motores a combustão em V funcionam convertendo energia química do combustível em energia mecânica, por meio do ciclo de quatro tempos: admissão, compressão, combustão e escape (Heywood, 1988). Nessa configuração, os cilindros são dispostos em dois blocos inclinados, formando um ângulo que confere maior compacidade e melhora a distribuição de forças com precisão e equidade.

Figura 4 – Funcionamento de um motor a combustão pelo ciclo de 4 tempos



© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

em: <https://educacaoautomotiva.com/2017/07/06/motor-4-tempos-como-funciona/> Acesso em 27 de ago. de 2025 às 10:44

Na fase de admissão, o pistão se desloca para baixo, permitindo a entrada da mistura ar-combustível na câmara de combustão. Durante a compressão, o pistão sobe, aumentando a pressão da mistura. A combustão ocorre quando a vela inflama essa mistura, liberando energia que empurra o pistão para baixo, convertendo energia química em energia mecânica. Finalmente, a fase de escape elimina os gases resultantes da queima, preparando o motor para o próximo ciclo.

O design em V apresenta vantagens claras: maior equilíbrio mecânico, redução de vibração e capacidade de gerar elevado torque em rotação intermediária. É por isso que motores V8 e V12 são preferidos em carros esportivos e de alto desempenho. Contudo, essa configuração apresenta limitações em eficiência energética, geralmente abaixo de 35%, devido às perdas de calor e atrito mecânico (EPA,2021).

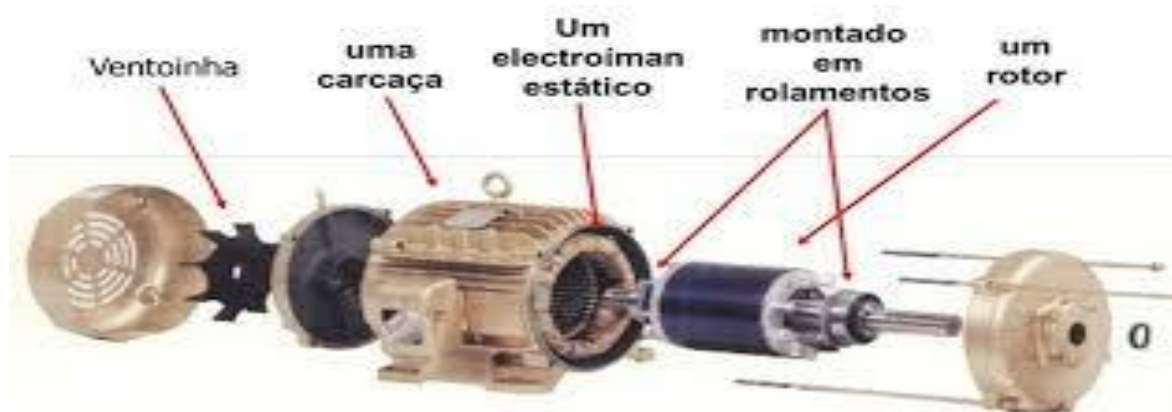
Além do desempenho técnico, o motor em V carrega uma dimensão cultural significativa. O som característico do escapamento, a aceleração progressiva e a sensação de potência estão diretamente associados à experiência do condutor, criando uma conexão emocional com o veículo. Esse fator sociocultural influencia

tanto a preferência do consumidor quanto a estratégia das montadoras.

2.3 Funcionamento dos motores elétricos por indução

Os motores elétricos por indução funcionam com base no eletromagnetismo. Correntes alternadas nos enrolamentos do estator geram um campo magnético girante, que induz correntes elétricas no rotor. A interação entre esses campos cria torque, movimentando o rotor e impulsionando o veículo (Jordan, 1996). A ausência de contato elétrico direto entre rotor e estator reduz o desgaste mecânico e permite instalações mecânicas e contínuas efetivas, tornando o motor elétrico, eficaz.

Figura 5 – Esquema básico de um motor elétrico por indução



Esquema básico de um motor elétrico por indução. Disponível em: <https://www.dmc.pt/neste-artigo-descreve-se-o-principio-de-funcionamento-do-motor-de-inducao/>. Acesso em 01 de set. de 2025 às 20:44.

Entre suas principais vantagens estão a alta eficiência energética, que pode superar 90% (IEA, 2022), entrega imediata de torque e menor manutenção. Diferentemente dos motores a combustão, não há ciclos explosivos nem sistemas complexos de lubrificação, simplificando a construção e operação.

O desempenho dos motores elétricos depende da tecnologia das baterias, principalmente as de íons de lítio, que possuem alta densidade energética, mas cuja produção envolve impactos ambientais relevantes, como extração de lítio e cobalto (Ellingsen et al., 2016). No entanto, a evolução tecnológica e os sistemas de gestão de energia permitem superar muitas das limitações iniciais, tornando os motores de indução cada vez mais competitivos em relação aos motores a combustão.

Além disso, o motor elétrico oferece vantagens práticas, como a frenagem regenerativa, que recupera energia durante a desaceleração, e a possibilidade de

controle eletrônico preciso do torque, garantindo melhor performance em curvas e arrancadas.

Ademais, ao falar de carros elétricos, é imprescindível não mencionar seus sistemas de frenagem. O aumento significativo do peso nos veículos elétricos, decorrente principalmente das baterias de alta capacidade, demanda sistemas de frenagem mais robustos para garantir a segurança veicular. Embora a frenagem regenerativa contribua para a redução do desgaste dos freios tradicionais, situações de emergência ou frenagens intensas exigem maior eficiência dos sistemas hidráulicos. Nesses contextos, o excesso de calor gerado pode comprometer a performance dos freios, fenômeno conhecido como brake fade. Como resposta a essas exigências, fabricantes têm adotado discos maiores, materiais com maior resistência térmica e calibração específica para veículos mais pesados, assegurando a capacidade de frenagem mesmo em condições críticas. De acordo com matéria da CNN Brasil (2023), esses ajustes são necessários porque os carros elétricos podem pesar de 20% a 50% mais que seus equivalentes a combustão, tornando o sistema de freios um ponto crucial no desenvolvimento da segurança automotiva.

Figura 6 – Sistema de frenagem de um carro elétrico



Sistema de frenagem de um carro elétrico. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/o-sistema-de-freios-tem-maior-durabilidade-em-carros-eletricos/>. Acesso em 10 de ago. às

12:33.

2.4 Comparação inicial: eficiência, desempenho e sustentabilidade

Comparando os dois sistemas, percebe-se que os motores a combustão em V apresentam alta potência, tradição e identidade cultural, mas baixa eficiência energética, com grande parte da energia perdida em calor e atrito (EPA, 2021). Já os motores elétricos de indução se destacam pela conversão eficiente de energia elétrica em movimento, acelerando rapidamente e mantendo consumo reduzido, especialmente quando associados a fontes renováveis de eletricidade (IEA, 2022).

Em termos de desempenho, os motores a combustão oferecem resposta linear e som característico, valorizados em competições e por entusiastas. Os motores elétricos, por outro lado, entregam torque instantâneo, aceleração mais rápida e operação silenciosa, o que transforma a experiência de condução.

Na questão da sustentabilidade, a combustão gera emissões contínuas de gases poluentes, impactando o meio ambiente e a saúde pública. O motor elétrico concentra seus impactos na produção e descarte de baterias, mas elimina emissões locais durante o uso. Quando a eletricidade utilizada provém de fontes renováveis, a vantagem ambiental torna-se ainda mais significativa.

2.5 Considerações parciais

Os motores a combustão em V permanecem relevantes em contextos de alto desempenho, tradição e valor cultural. Já os motores elétricos de indução representam o futuro da mobilidade, combinando eficiência, baixo impacto ambiental e tecnologia avançada. No entanto, a adoção generalizada dos elétricos depende do avanço da infraestrutura de recarga, da melhoria das baterias e da conscientização sobre ambientalismo no que tange o tema da sustentabilidade.

2.6 Impactos ambientais e ciclo de vida

O ciclo de vida dos motores a combustão concentra impactos principalmente na fase de uso, com emissão de dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, monóxido de

carbono e material particulado, contribuindo para o aquecimento global e problemas respiratórios em áreas urbanas (EPA, 2021). A fabricação também consome energia e materiais metálicos, mas é significativamente menor em impacto ambiental se comparada ao constante e frequente uso prolongado.

Nos motores elétricos, a produção de baterias envolve mineração de lítio, cobalto e níquel, com impactos ambientais e sociais relevantes (Ellingsen et al., 2016). Entretanto, a fase de uso apresenta emissões quase nulas, especialmente quando a eletricidade é proveniente de fontes limpas. A reciclagem das baterias é fundamental para reduzir a extração de recursos naturais e maximizar a sustentabilidade.

2.7 Relevância sociocultural dos motores a combustão

Mais do que tecnologia, os motores a combustão em V representam status, tradição e identidade automotiva. Filmes, competições e a cultura do automobilismo reforçam o valor simbólico desses motores. Esse aspecto sociocultural explica, em parte, a resistência à adoção total de motores elétricos, mesmo diante das evidências de eficiência e sustentabilidade. Portanto, a transição energética não envolve apenas avanços técnicos, mas também mudanças culturais e comportamentais, destacando a necessidade de educação do consumidor e de estratégias que conciliem desempenho, eficiência e sustentabilidade na mobilidade moderna.

3. ANÁLISE DE EFICIÊNCIA, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DOS MOTORES ELÉTRICOS POR INDUÇÃO E MOTORES A COMBUSTÃO EM V

3.1 A eficiência energética como indicador central na comparação dos sistemas de propulsão

A eficiência energética é um conceito fundamental para compreender e avaliar o desempenho dos sistemas de propulsão automotiva, pois expressa a capacidade do motor em transformar a energia fornecida – seja proveniente de um combustível fóssil ou de uma bateria elétrica – em trabalho útil que movimenta o veículo. No caso dos

motores a combustão interna, essa energia inicial é química e sofre transformações complexas no processo de queima, envolvendo reações rápidas de oxidação e liberação de calor. Contudo, uma parte significativa dessa energia não é aproveitada para gerar movimento, sendo dissipada como calor residual ou consumida em atrito e sistemas auxiliares do motor. Assim, a eficiência térmica de motores a combustão muitas vezes se mantém em patamares entre 25% e 35%, indicando que aproximadamente dois terços da energia do combustível é perdida no processo (Brunetti, 1988; EPA, 2021). Esse dado, por si só, revela importantes limitações tecnológicas e termodinâmicas enfrentadas por essa categoria de propulsão, que desafiam engenheiros e pesquisadores a desenvolver soluções para reduzir o desperdício de energia e maximizar o aproveitamento do combustível.

Por outro lado, os motores elétricos por indução se diferenciam significativamente nesse aspecto, pois realizam a conversão da energia elétrica em energia mecânica de forma direta, com perdas mínimas associadas à resistência dos componentes e às limitações dos materiais magnéticos. Com eficiência operacional frequentemente superior a 90%, esses motores aproveitam a energia da bateria de maneira muito mais eficaz, o que impacta diretamente no consumo total do veículo e nos custos operacionais (Brunetti, 1996; IEA, 2022). Essa diferença acentuada na eficiência entre os dois tipos de motores indica que, sob o ponto de vista puramente energético, os motores elétricos oferecem uma opção muito mais sustentável e econômica para mover veículos modernos, especialmente em contextos urbanos com alto índice de paradas e arranques. No entanto, esta análise não pode ser dissociada do conjunto completo do sistema propulsor, que envolve a fonte de energia, armazenamento, controle eletrônico e demais componentes que influenciam o consumo e o desempenho no uso real.

Esse contraste traz à tona uma reflexão essencial: a importância da origem da energia elétrica utilizada nos motores elétricos e a forma como ela é gerada influenciam decisivamente o balanço ambiental global. A eficiência elevada do motor de indução só se traduz em benefícios ambientais efetivos quando associada a uma matriz elétrica limpa, baseada em fontes renováveis. Caso contrário, a emissão indireta de poluentes e o impacto do ciclo de vida da produção e distribuição da energia elétrica podem reduzir ou até anular as vantagens ambientais desses veículos (IEA, 2022). Consequentemente, a análise da eficiência energética deve ser conduzida considerando a totalidade do sistema energético e não apenas a eficiência

pontual do motor, o que amplia a complexidade da discussão, mas também enriquece a compreensão sobre os desafios e oportunidades de cada tecnologia.

3.2 Características e limitações dos motores a combustão em V diante dos desafios da eficiência

A arquitetura em V dos motores a combustão representa uma solução histórica para conferir maior equilíbrio mecânico e potência concentrada em um espaço compacto, permitindo a fabricação de veículos com performances elevadas e características sonoras particulares, valorizadas em segmentos esportivos e de luxo (Lenz, 2017). Além dessa vocação estética e funcional, o arranjo em V reduz as vibrações e contribui para um funcionamento mais estável e confortável, aspectos que repercutem positivamente na experiência do condutor e na durabilidade da máquina. No entanto, mesmo com todas essas qualidades, os motores a combustão em V enfrentam limitações relevantes quanto à eficiência energética, sobretudo em função das perdas térmicas e mecânicas que caracterizam seu funcionamento. O ciclo termodinâmico, que envolve etapas de admissão, compressão, combustão e escape, produz calor que não é convertido em trabalho e deve ser dissipado para garantir a integridade do motor, o que representa uma perda importante de energia (Heywood, 1988).

Outro fator que dificulta ganhos expressivos em eficiência é a fricção mecânica gerada pela movimentação simultânea de diversos componentes internos. Pistões, bielas, válvulas e sistemas auxiliares demandam energia para se moverem, resultando em perdas que variam conforme o regime de operação e as condições de uso do veículo, sendo mais acentuadas em situações urbanas, com constantes partidas e paradas. O trabalho do motor em regime parcial, típico das condições diárias de uso, se revela menos eficiente e mais poluente, evidenciando uma contradição entre a busca por desempenho e a necessidade de manter o consumo e as emissões sob controle (EPA, 2021). Isso explica, em parte, as dificuldades enfrentadas pelas montadoras para conciliar as exigências ambientais crescentes com a tradição e o desempenho característico dos motores em V.

Além disso, a própria arquitetura em V impõe desafios térmicos e de gestão do motor, potencialmente aumentando a complexidade do sistema de refrigeração, afeta o peso total do motor e influencia na eficiência volumétrica, dada a disposição dos

cilindros e caminhos do fluxo de gases. Desta forma, ainda que o desenho em V tenha sido uma importante solução histórica para motores de alta potência, seu uso em larga escala enfrenta limitações naturais que dificultam seu alinhamento com as demandas ambientais e energéticas do século XXI. Essas dificuldades reforçam a necessidade de novos paradigmas tecnológicos, que não apenas mantenham o desempenho, mas estejam alinhados com a sustentabilidade e as perspectivas futuras da mobilidade.

3.3 Motores elétricos por indução: fundamentos eletromagnéticos e vantagens operacionais

Os motores elétricos por indução apresentam um princípio de funcionamento que os diferencia profundamente dos motores a combustão. Seu funcionamento depende da indução eletromagnética: quando correntes alternadas percorrem os enrolamentos do estator, criam um campo magnético rotativo que induz correntes elétricas no rotor, produzindo movimento por interação magnética (Jordan, 1996). Essa ausência de contato elétrico físico entre rotor e estator elimina o desgaste tradicionalmente associado a componentes móveis, reduzindo significativamente a necessidade de manutenção e aumentando a confiabilidade do sistema, um ponto crucial na indústria automobilística, onde robustez e durabilidade são fundamentais.

Do ponto de vista da eficiência, os motores por indução se destacam, pois suas perdas principais são elétricas (resistivas) e magnéticas, além de perdas mecânicas relativamente baixas. Estas características permitem que esses motores superem o índice de 90% de eficiência na maioria das condições de operação (IEA, 2022). A melhoria contínua dos materiais magnéticos, técnicas de fabricação como a laminação dos núcleos e avanços nos inversores eletrônicos aumentam ainda mais esse desempenho, ampliando o alcance e a eficiência energética dos veículos elétricos.

Outro aspecto é a possibilidade de controle preciso através dos sistemas eletrônicos, que otimizam a aplicação do torque em tempo real, adaptando o desempenho às condições de uso e reduzindo o consumo desnecessário de energia.

Entretanto, cabe salientar que o motor elétrico por indução não opera isoladamente. Seu desempenho e efetiva eficiência dependem do conjunto formado pela bateria, sistemas de controle e infraestrutura de recarga, que atualmente enfrentam desafios relacionados a limitações tecnológicas, custos e impactos ambientais principalmente ligados à mineração e reciclagem de materiais (Ellingsen

et al., 2016). Apesar disso, o potencial de melhoria tecnológica é grande, com tendências promissoras para baterias com maior densidade energética, métodos de reciclagem mais eficientes e fontes de energia renovável, o que sugere que os motores por indução possam consolidar-se como o núcleo da mobilidade sustentável nas próximas décadas.

3.4 Diferenças no desempenho dinâmico: torque, resposta e experiência do usuário

A comparação do desempenho dinâmico entre motores a combustão em V e motores elétricos por indução destaca características que vão muito além de números técnicos puros, pois interferem diretamente na experiência do condutor e na percepção do veículo. O motor a combustão em V oferece uma entrega progressiva do torque, que se estabelece conforme a rotação aumenta, proporcionando uma aceleração linear e previsível que muitos motoristas consideram essencial para a sensação clássica do dirigir, resumida no som, na vibração e na resposta gradual do motor (Lenz, 2017). Esta característica, que envolve um certo tempo de resposta desde o acionamento do acelerador até o pico de torque, explica, em parte, o apego emocional que o motor a combustão possui, sendo elemento marcante da identidade cultural do automóvel.

Como exemplo disso temos o Dodge Challenger Hellcat destaca-se pelos motores V8 que entregam alto desempenho caracterizado por torque elevado e potência robusta. Em sua versão 2025 com motor 6.4L HEMI V8, o Challenger oferece 485 cavalos de potência e 475 lb-ft de torque, enquanto a versão supercharged Hellcat de 6.2L atinge 707 cavalos e impressionantes 650 lb-ft de torque. Esse torque elevado permite respostas rápidas e eficientes na aceleração, proporcionando uma experiência dinâmica intensa e imediata para o usuário, especialmente em situações de alta demanda, como arrancadas e ultrapassagens. Além disso, o sistema de direção elétrica e a suspensão esportiva aprimorada contribuem para um controle preciso e uma condução confortável, equilibrando desempenho e dirigibilidade. Comparado aos motores elétricos por indução, os V8 oferecem uma resposta de torque linear e acústica inconfundível que influencia diretamente na percepção do desempenho pelo usuário, mesmo que esses motores elétricos tragam ganhos em eficiência e sustentabilidade. Portanto, o Dodge Challenger Hellcat exemplifica com dados como o motor V8 entrega uma experiência vibrante e potente enquanto ainda

incorpora elementos tecnológicos que otimizam eficiência sem sacrificar o desempenho.

Figura 7 – Dodge Challenger Hellcat 2024



Fonte: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2017/06/dodge-challenger-srt-hellcat-ganha-carroceria-alargada-na-linha-2018.ghtml>. Acesso em 23 out. 2025 às 8h30.

Figura 8 – Motor do Dodge Challenger Hellcat direto de seu capô



Por sua vez, o motor elétrico por indução revoluciona essa dinâmica ao fornecer torque máximo instantaneamente, inclusive partindo do zero rpm, o que resulta em aceleração rápida e resposta imediata ao comando do motorista (Jordan, 1996). Essa característica torna o veículo elétrico muito eficiente em cenários urbanos, com múltiplas paradas e retomadas, e oferece melhor desempenho em situações que demandam potenciais rápidos, como ultrapassagens e manobras de emergência.

Ademais, o controle eletrônico configura uma entrega de torque altamente modulada e inteligente, aumentando não apenas a eficiência, mas também a segurança e o conforto – com reações mais suaves em curvas, melhor aderência devido à tração mais precisa e o uso da frenagem regenerativa, que recupera energia que seria perdida, aumentando ainda mais a eficiência energética geral do sistema (IEA, 2022). Dessa forma, o motor elétrico não apenas muda o modo de operação, mas transforma a própria experiência de dirigir, impondo um novo padrão de desempenho e sensibilidade ao veículo.

3.5 Sustentabilidade e impactos ambientais no ciclo de vida dos motores

A discussão sobre sustentabilidade no âmbito dos motores automotivos deve ir muito além do desempenho instantâneo, abrangendo todas as fases do ciclo de vida dos veículos, desde a extração das matérias-primas necessárias para sua fabricação até o descarte ou reaproveitamento de componentes. No caso dos motores a combustão em V, embora o processo industrial consuma consideráveis recursos naturais e energia, a maior parte do impacto ambiental está concentrada na fase de uso, devido à emissão contínua de gases poluentes, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e material particulado, que contribuem para o aquecimento global, o efeito estufa e sérios problemas de saúde pública, fato especialmente preocupante em centros urbanos densamente povoados (EPA, 2021). Isso cria uma tensão entre a manutenção da performance e o compromisso ambiental, reforçando a necessidade de políticas públicas rigorosas para mitigar os efeitos danosos da emissão contínua.

Por outro lado, os motores elétricos por indução eliminam emissões locais durante o uso, gerando impactos significativamente menores na qualidade do ar e no ruído urbano (IEA, 2022). No entanto, a fabricação das baterias que alimentam esses motores requer a extração de minerais estratégicos como lítio, níquel e cobalto, cujos processos mineradores causam impactos sociais e ambientais importantes, incluindo degradação dos ecossistemas, poluição de águas, consumo intensivo de recursos hídricos e preocupações trabalhistas em regiões produtoras (Ellingsen et al., 2016). Para que a mobilidade elétrica represente um avanço efetivo rumo à sustentabilidade, torna-se imprescindível o desenvolvimento de tecnologias para reciclagem eficiente das baterias, novas químicas menos impactantes e o uso crescente de fontes de energia renovável para a geração da eletricidade consumida pelos veículos elétricos, garantindo assim um ciclo fechado e sustentável a longo prazo.

3.6 Aspectos econômicos, sociais e culturais da adoção dos motores elétricos e a combustão

Além dos aspectos técnicos e ambientais, a adoção de um ou outro sistema de propulsão envolve questões econômicas e culturais que influenciam diretamente as escolhas de consumidores e as estratégias do mercado automotivo. Os motores a combustão em V contam com uma cadeia produtiva consolidada, com forte infraestrutura de abastecimento, manutenção e uma base de fornecedores globalmente estabelecida, o que torna o custo inicial de aquisição e a praticidade elevados fatores decisivos para muitos consumidores (Lenz, 2017). Contudo, o aumento de custos ligados a regulação ambiental, taxas, impostos especiais e a percepção crescente dos impactos negativos das emissões tornam esta opção cada vez mais onerosa e menos sustentável economicamente a médio e longo prazo.

Sob outro viés, veículos equipados com motores elétricos por indução apresentam custos iniciais mais altos, principalmente em função das baterias e sistemas eletrônicos envolvidos, apesar de estarem em processo acelerado de redução, graças aos avanços tecnológicos e escala produtiva (IEA, 2022). A operação tende a ser significativamente mais econômica, com menor custo de energia e manutenção, o que altera a equação econômica para consumidores e frotistas em horizontes mais amplos. Socialmente, entretanto, ainda existe uma resistência cultural ao uso de veículos elétricos, em parte devido ao apego emocional aos motores a

combustão, valorizados pelo som, pelo desempenho e pela tradição, elementos difíceis de substituir, especialmente em nichos de mercado ligados a carros esportivos e veículos de luxo (Mom, 2015). A superação dessas barreiras exige políticas públicas que incentivem a eletrificação, alavanquem a infraestrutura de recarga, promovam a educação ambiental e fomentem uma nova cultura automotiva que valorize a sustentabilidade sem abrir mão da performance e do prazer de dirigir.

3.7 Considerações finais sobre eficiência, desempenho e sustentabilidade

Após uma análise ampla e detalhada, fica evidente que os motores elétricos por indução representam uma alternativa tecnologicamente superior em termos de eficiência energética, desempenho dinâmico e redução dos impactos ambientais locais, posicionando-se como protagonistas da transformação da mobilidade no século XXI. A combinação de alta eficiência, baixa manutenção e possibilidade de operação com energia limpa faz destes motores uma solução alinhada com as exigências socioambientais contemporâneas. Contudo, seus desafios relacionados à produção e ao descarte das baterias e a necessidade de uma infraestrutura robusta limitam, por enquanto, sua adoção massiva.

Já os motores a combustão em V permanecem relevantes por sua performance, podendo oferecer alta potência, além de carregar um valor cultural e social significativo, especialmente para entusiastas e nichos de mercado específicos que valorizam a tradição automobilística. No entanto, sua baixa eficiência energética e os impactos ambientais contínuos ameaçam sua viabilidade futura, muitas vezes colocando-os em rota de obsolescência diante das exigências regulatórias e do avanço tecnológico da eletrificação.

Em síntese, a transição energética na mobilidade automotiva passa necessariamente por um processo multidimensional, envolvendo não apenas o avanço científico e tecnológico, mas também a adaptação econômica, mudanças sociais e culturais profundas. A construção de um futuro sustentável dependerá da capacidade de integrar esses fatores, promovendo inovações que assegurem eficiência, desempenho e respeito ao meio ambiente, sem negligenciar a diversidade das experiências e valores do usuário final.

CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo comparar os motores a combustão com cilindros dispostos em “V” e os motores elétricos por indução, analisando seu desempenho, eficiência e sustentabilidade. Buscou-se compreender, sob uma perspectiva técnico-científica, quais tecnologias oferecem melhores resultados em termos energéticos e ambientais, além de discutir o impacto sociocultural de cada tipo de propulsão na mobilidade moderna.

A partir do desenvolvimento teórico e das análises comparativas realizadas, foi possível comprovar que os motores elétricos por indução apresentam eficiência energética significativamente superior, ultrapassando 90% em muitos casos, enquanto os motores a combustão em V raramente atingem 35%. Além disso, os motores elétricos destacam-se por sua resposta imediata de torque, operação silenciosa e menores custos de manutenção, o que os posiciona como alternativas tecnológicas mais sustentáveis e adequadas às demandas contemporâneas por redução de emissões e consumo consciente.

Por outro lado, os motores a combustão em V continuam relevantes em segmentos específicos devido ao seu desempenho elevado, à sonoridade característica e ao valor histórico e cultural que representam para os entusiastas do automobilismo. No entanto, sua baixa eficiência térmica e as emissões contínuas de gases poluentes limitam seu papel diante das exigências ambientais e das transformações do setor automotivo.

Portanto, conclui-se que os motores elétricos por indução superam os motores a combustão em V nos quesitos de eficiência, sustentabilidade e evolução tecnológica, embora a transição completa para a eletrificação dependa de avanços em infraestrutura, armazenamento de energia e reciclagem de baterias. Este trabalho contribui teoricamente ao reunir e sistematizar estudos de diferentes autores sobre o tema e, na prática, ao incentivar a reflexão sobre o futuro da mobilidade sustentável.

Como limitação, reconhece-se que o estudo se baseou em análise bibliográfica, sem experimentação prática dos motores. Ainda assim, abre-se espaço para futuras pesquisas que explorem dados empíricos, avanços em motores híbridos e o impacto social da eletrificação automotiva no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIAS

Brunetti, Franco, 2018 “Motores a combustão interna V.1, 1ª edição, São Paulo, Blucher, pp. 11-44

Jordan, H.E, 1994, “*Energy-Efficient Electric Motors and Their Applications*”, 2nd edition, Nova Iorque, *Springer Science+Business Media*, pp. 05-22

Petruszella, Frank, 2013 (Tradução), “Motores elétricos e acionamentos, Série Tekne, Eynon, País de Gales, Bookman, pp. 03-18

COWAN, R., Hultén, S., 1996, “Escaping Lock-in: The Case of Electric Vehicle”. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 53, pp. 11-26.

Ford Motor Company. 2023 Ford Escape Hybrid Specifications. Disponível em: <https://www.ford.com>.

Honda Motor Co. 2023 Accord Hybrid Specifications and Performance. Disponível em: <https://www.honda.com>.

Silva, Lucas Rosário Braga, and Ana Oliveira. 2016, "Sustentabilidade no Setor Automotivo: Motores Híbridos."

MARTINS, Jorge José Gomes. Motores de combustão interna. 6.^a ed. Lisboa: Quântica Editora, 2020.

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 4th ed. SAE International/Macmillan, 2012.

MASSUCO, Alder Evandro. Motor de combustão interna – Ciclo Diesel. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2016.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil.

CASTRO, Zamlutti José. “Motor V8 com pistões eletromagnéticos como alternativa para veículos automotores”. Dissertação (Mestrado) – AEDB, São Paulo, 2018.