

TÍTULO: Comparação entre Motores Elétricos e Motores a Combustão para Veículos Automotores / Comparison between Electric Motors and Combustion Engines for Motor Vehicles

Vitor Francisco Magalhães Batista¹
Luis Gustavo Schroder e Braga²

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre motores elétricos e motores a combustão em veículos automotores, com o objetivo de identificar a solução mais adequada para diferentes cenários do cotidiano. A metodologia utilizada consistiu na comparação detalhada de quatro modelos de veículos, sendo dois de cada fabricante: VW UP Flex, VW UP TSI Flex, BYD Dolphin e BYD Dolphin Mini. A coleta de dados foi realizada por meio de fontes confiáveis, como sites dos fabricantes e portais especializados no setor automotivo, e abrangeu aspectos como eficiência energética, desempenho, custos operacionais e de produção, além do impacto ambiental. Os resultados indicaram que veículos com motores elétricos possuem vantagens significativas em eficiência e emissão de poluentes, sendo ideais para viagens curtas e para utilização em centros urbanos, onde a sustentabilidade e o menor custo por quilômetro são essenciais. Já os veículos com motores a combustão destacam-se pela maior autonomia e pelo reabastecimento rápido, sendo mais indicados para viagens longas e percursos em locais com infraestrutura elétrica limitada. Assim, a escolha entre os dois tipos de motor depende das necessidades de cada usuário, sendo os modelos elétricos preferíveis para o uso urbano e cotidiano, enquanto os modelos a combustão se tornam mais vantajosos em trajetos intermunicipais e rodoviários.

Palavras-chave: Motores. Eficiência. Elétrico.

ABSTRACT

This study presents a comparative analysis between electric and combustion engines in motor vehicles, aiming to identify the most suitable solution for different everyday scenarios. The methodology used consisted of a detailed comparison of four vehicle models, two from each manufacturer: VW UP Flex, VW UP TSI Flex, BYD Dolphin, and BYD Dolphin Mini. Data collection was carried out through reliable sources, such as manufacturer websites and specialized automotive portals, covering aspects such as energy efficiency, performance, operational and production costs, as well as environmental impact. The results indicated that vehicles with electric engines have significant advantages in efficiency and pollutant emissions, making them ideal for short trips and use in urban centers, where sustainability and lower cost per kilometer are essential. On the other hand, vehicles with combustion

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco – vitorfmb@hotmail.com – graduando em Engenharia Elétrica (autor)

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Unidade Itamar Franco – luis.braga@doctum.edu.br (orientador do trabalho)

engines stand out for their greater range and fast refueling, being more suitable for long trips and routes in areas with limited electric infrastructure. Therefore, the choice between the two types of engines depends on the user's needs, with electric models being preferable for urban and daily use, while combustion models are more advantageous for intercity and long-distance routes.

Keywords: Engines. Efficiency. Electric.

1. Introdução

Neste trabalho, iremos analisar as diferenças estruturais, práticas e teóricas sobre motores impulsionados a energia elétrica e motores a combustão, mais especificamente utilizando quatro modelos, de duas fabricantes. Sendo, da Volkswagen, os modelos UP 1.0 Flex e UP 1.0 TSI. Da fabricante BYD, utilizaremos o Dolphin e Dolphin Mini. Através destes, buscaremos aqui elucidar as principais vantagens e desvantagens, lugares ideais para uso, condições e um pouco sobre sua durabilidade, visando uma comparação justa entre eles, para assim analisar, em suma, se a evolução presente até o momento, justifica a substituição do modelo tradicional utilizado em veículos automotores.

Podemos aqui então começar a elucidar os pontos chaves de cada um dos motores citados, para que então, após, iniciemos um processo de estudo e comparação mais a fundo.

Em um motor a combustão, o processo de funcionamento ocorre com a conversão da energia contida no combustível (podendo ser, dentre os mais conhecidos, gasolina, etanol ou diesel) em energia mecânica, para impulsionar o veículo. O processo ocorre em quatro etapas principais: admissão, compressão, combustão e escape.

Ao longo do processo de admissão, o ar e o combustível são misturados e aspirados para dentro do cilindro. Em seguida, ocorre a compressão, em que o pistão comprime a mistura. A combustão ocorre quando uma vela de ignição comprime a mistura; isso causa uma explosão que empurra o pistão para baixo, causando movimento. Por fim, o escape libera os gases produzidos pela combustão. O ciclo se repete continuamente e leva o carro para frente.

Pesquisas indicam que este processo geralmente tem um rendimento baixo (Ribeiro, 2021) que gira em torno de 30%, além de gerar gases poluentes para a atmosfera e ser muito custoso, visto o preço dos combustíveis fósseis.

Em um motor elétrico, a energia elétrica é convertida em energia mecânica para impulsionar o veículo. Este motor consiste em bobinas de fio condutor envoltas em torno de um núcleo ferromagnético.

Quando uma corrente elétrica é aplicada às bobinas, surge um campo magnético, que por sua vez interage com o campo magnético de ímãs permanentes, o que gera força e faz com que o rotor (parte giratória) gire. Esse movimento é transmitido às rodas do veículo, transformando a energia elétrica em cinética, permitindo sua locomoção. Como não há combustão envolvida, os motores elétricos são mais eficientes, chegando a incrível marca de 90% de eficiência (Alves, 2021) e produzem zero emissões diretas, sendo muito mais amigáveis ao meio ambiente, fora que possuem um custo de uso bem menor, devido a seu “combustível” ser a energia elétrica.

Objetivo então com este trabalho, por meio de comparações, identificar situações ambientais, econômicas e técnicas favoráveis para o melhor desempenho destes motores. Com isso, buscando futuramente disponibilizar uma ampla gama técnica para a escolha e melhor adequação de cada tipo veículo, com seu respectivo tipo de motor, para cada ambiente, seja para circulação urbana, seja para grandes percursos. A compreensão de tecnologias é essencial para embasar decisões fundamentadas, considerando aspectos matemáticos, físicos e questões de segurança, sustentabilidade e durabilidade.

2.Referencial teórico

2.1.Motores elétricos

Um motor elétrico opera seguindo o princípio da interação entre campos magnéticos. No interior do motor, encontra-se um conjunto de bobinas de fio de cobre, nomeadas estator. Ao percorrer o estator, uma corrente elétrica gera um campo magnético rotativo, que interage com os ímãs permanentes do rotor para criar uma força que o impulsiona à rotação.

A força de propulsão gerada pelo motor elétrico é dependente de variados fatores, como a intensidade da corrente elétrica, a força do campo magnético e o número de pólos dos ímãs. Já a velocidade de rotação, é determinada através da frequência da corrente alternada que alimenta o motor.

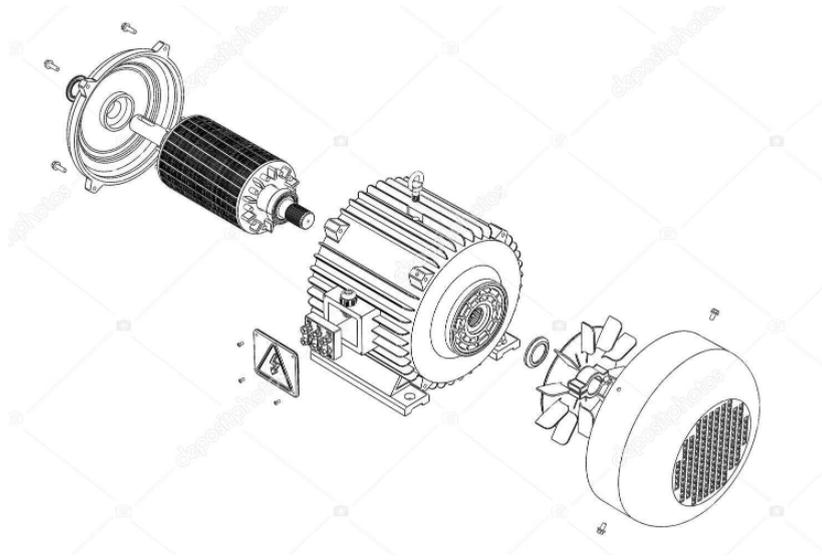


Imagem 01: vista explodida de um motor elétrico genérico

Fonte: Manual WEG

2.2. Aplicação dos motores elétricos em carros

Em um carro elétrico, o motor é quem fica responsável pela propulsão do veículo. A energia armazenada em baterias, de alta capacidade, é convertida em corrente elétrica por inversores, alimentando o motor e gerando a força necessária para mover as rodas. (ABB OY, 2024). Podemos entender melhor esse conceito, analisando o seguinte gráfico:

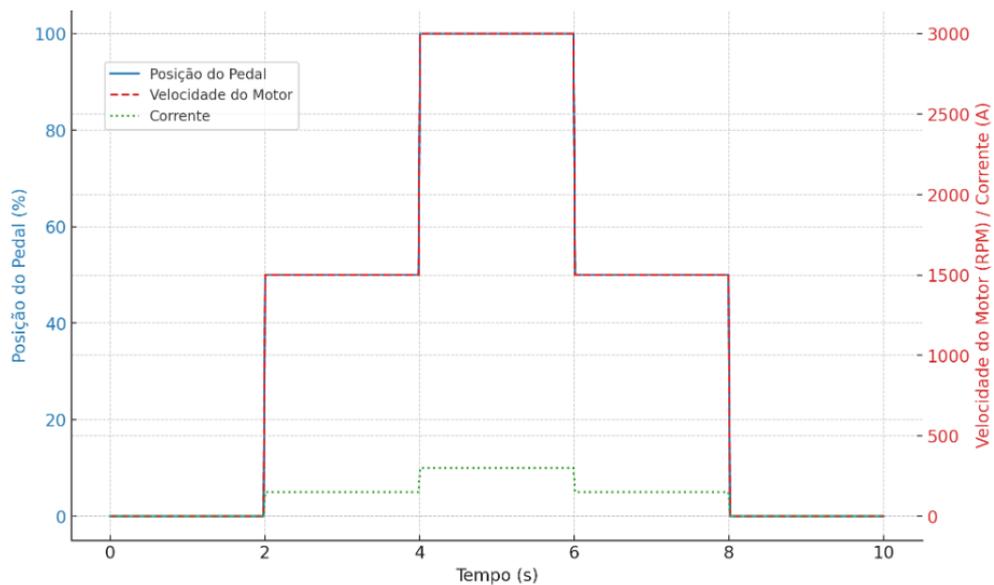


Gráfico 01: Posição do pedal X velocidade do motor (RPM) X Tempo

Fonte: Autor 2024

O gráfico acima ilustra como a posição do pedal do acelerador, a velocidade do motor (em RPM) e a corrente elétrica (em Amperes) variam ao longo do tempo em um sistema de controle de motor elétrico.

- **Linha Azul:** Representa a posição do pedal do acelerador em porcentagem. Inicialmente, o pedal está a 0%, depois aumenta para 50%, depois para 100%, retorna a 50% e finalmente volta a 0%.
- **Linha Vermelha (Tracejada):** Representa a velocidade do motor em RPM. A velocidade do motor segue a posição do pedal, aumentando à medida que o pedal é pressionado e diminuindo quando é liberado.
- **Linha Verde (Pontilhada):** Representa a corrente elétrica em Amperes. A corrente ajusta-se proporcionalmente à velocidade do motor, aumentando quando o motor acelera e diminuindo quando o motor desacelera.

O sistema de controle do motor elétrico é essencial para garantir que o desempenho do carro seja suave, bem como eficiente. Sensores monitoram a velocidade do motor, além de todos os dados vitais do carro, além da posição do pedal do acelerador, ajustando a corrente elétrica de acordo com as necessidades do motorista, dando mais potência e, assim, gerando maior velocidade para o motorista.

2.3.Princípios da eletricidade

Na engenharia, os motores elétricos se destacam por sua simplicidade, sua necessidade de manutenção, pequeno impacto ambiental e, é claro, sua alta eficiência. Neste trabalho, exploraremos os princípios físicos fundamentais que sustentam o funcionamento desses motores, desde os conceitos básicos da eletricidade até as leis da física que governam o campo magnético, que são de suma importância para o entendimento do trabalho aqui apresentado.

2.3.1.Lei de ampère

A Lei de Ampère, formulada pelo físico francês André-Marie Ampère em 1827, estabelece uma relação fundamental entre a corrente elétrica que circula em um condutor e o campo magnético gerado por ela. Essa lei é a base para o funcionamento de diversos dispositivos elétricos, incluindo motores elétricos.

Definida pela equação matemática;

$$B = \mu_0 * I / 2\pi r \quad (01)$$

A Lei de Ampère (fórmula 01) define que o campo magnético (B) gerado por um fio reto e infinitamente longo é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica (I) que circula pelo fio e inversamente proporcional à distância (r) do fio ao ponto onde o campo magnético é medido.

Onde:

μ_0 : Permeabilidade magnética do vácuo.

I: Corrente elétrica que circula no fio condutor.

Tendo em vista o conhecimento que este conceito nos traz, podemos passar então para o que nos interessa em relação a aplicação nos motores, que é discutir os resultados da lei de ampère aplicada em um caminho fechado (através da integral, ferramenta de cálculo), representada, matematicamente, pela equação 2:

$$\oint B * dl = \mu_0 * I \quad (02)$$

A Lei de Ampère, expressa em termos de uma integral de linha (equação 02), que calcula o campo magnético total ($\oint B$) ao longo de um caminho fechado (dl) que envolve o fio condutor, possui diversas aplicações (Griffiths, 1999). Neste trabalho, podemos dar destaque para a utilização dela nos solenoides e eletroímãs, unindo conceitos e fazendo com que se forme uma harmonia no motor.

A Lei de Ampère é fundamental para o cálculo do campo magnético em solenoides, dispositivos que consistem em um fio enrolado em forma de hélice. Também é essencial para o funcionamento de eletroímãs, dispositivos que geram um campo magnético intenso quando uma corrente elétrica é aplicada. Ambos são peças indispensáveis para a construção dos motores elétricos.

2.3.2. Lei de Biot-Savart

A Lei de Biot-Savart, formulada pelos físicos franceses Jean-Baptiste Biot e Félix Savart em 1820, complementa a Lei de Ampère e permite calcular o campo magnético gerado por qualquer distribuição arbitrária de corrente elétrica. Essa lei é extremamente útil para analisar o campo magnético em configurações complexas, como bobinas e solenoides, se encaixando perfeitamente na necessidade dos motores.

A Lei de Biot-Savart define que o campo magnético (dB) gerado por um pequeno elemento de corrente (dl) é diretamente proporcional à intensidade da corrente (I), ao comprimento do elemento de corrente (dl), ao seno do ângulo (θ) entre o elemento de corrente e a linha que une o elemento ao ponto onde o campo magnético é medido, e inversamente proporcional ao quadrado da distância (r) entre o elemento de corrente e o ponto de medição. Matematicamente expressa pela equação 3:

$$dB = \mu_0/4\pi * (I * dl \times r) / r^2 \quad (03)$$

Onde:

μ_0 : Permeabilidade magnética do vácuo (constante física).

I : Corrente elétrica que circula no elemento de corrente.

dl : Comprimento do elemento de corrente.

θ : Ângulo entre o elemento de corrente e a linha que une o elemento ao ponto de medição.

r : Distância entre o elemento de corrente e o ponto de medição.

Utilizando do mesmo mecanismo o qual foi aplicado na lei de Ampère (integral de linha), temos um excelente resultado na Lei de Biot-Savart. Calcular o campo magnético total ($\oint B$) gerado por toda a distribuição de corrente, nas bobinas, expressa pela equação 4:

$$\oint B * dl = \mu_0 * I \quad (04)$$

Com isso, podemos entender e modelar o torque e velocidade, sendo fundamental para o desenvolvimento de sistemas de controle precisos para motores elétricos.

2.4. Vantagens dos carros elétricos

Os motores elétricos têm se destacado no por diversas razões. A listagem a seguir discorre sobre as principais razões pelas quais eles se sobressaem no mercado automotivo.

2.4.1. Eficiência energética

Os motores elétricos são conhecidos por sua alta eficiência, visto que eles convertem uma quantidade significativa da energia elétrica que consomem em energia mecânica, reduzindo o desperdício de energia.

2.4.2. Baixa manutenção

Comparados aos motores a combustão, os motores elétricos geralmente exigem menor manutenção, uma vez que eles possuem menos peças móveis sujeitas a desgaste.

2.4.3. Respeito ao meio ambiente

Uma das grandes vantagens dos motores elétricos é que eles não produzem emissões diretas na estrada. Isso contribui para um ambiente mais limpo e sustentável.

2.4.4. Desempenho superior

A principal vantagem dos motores elétricos refere-se à capacidade desses motores de oferecerem uma potência e eficiência excepcionais durante o funcionamento, ou seja, ao desempenho superior que apresentam em relação aos motores a combustão. Isso está intimamente relacionado às propriedades físicas dos motores elétricos e à maneira como eles convertem energia elétrica em energia mecânica.

2.5. Limitações

Apesar das diversas vantagens que os motores elétricos apresentam, é fundamental reconhecer suas limitações para uma compreensão completa do seu papel na indústria automobilística e em outras aplicações. Algumas das principais limitações incluem:

2.5.1. Dependência de baterias

Um dos principais desafios enfrentados pelos veículos elétricos (VEs) é a dependência de baterias para armazenar a energia elétrica necessária para a locomoção. Essas baterias, geralmente de íon-lítio, possuem uma capacidade limitada e podem afetar a autonomia dos VEs. Embora a tecnologia de baterias esteja avançando rapidamente, ainda existem preocupações quanto à autonomia em comparação com veículos a combustão, especialmente para longos percursos.

2.5.2. Infraestrutura de recarga

A infraestrutura de recarga desempenha um papel crítico na viabilidade dos veículos elétricos. Para que haja uma transição bem-sucedida para a mobilidade elétrica, é necessário viabilizar uma extensa rede de pontos de recarga acessíveis e convenientes. A falta de uma infraestrutura de recarga adequada pode ser um obstáculo significativo para a adoção em massa dos motores elétricos. Além disso, a capacidade de recarga rápida é uma consideração importante para atender às necessidades dos motoristas em trânsito.

2.5.3. Tempo de recarga

Embora os veículos elétricos ofereçam vantagens em termos de custo operacional e impacto ambiental, o tempo de recarga das baterias é consideravelmente mais longo do que o tempo necessário para abastecer um veículo a combustão com combustível. Isso pode se tornar um inconveniente para motoristas que estão acostumados com o rápido abastecimento em postos de combustível. Portanto, a eficiência do processo de recarga e o desenvolvimento de tecnologias de recarga mais rápidas são áreas de pesquisa e desenvolvimento contínuo.

2.5.4. Custo Inicial

Os veículos elétricos tendem a apresentar um custo inicial mais alto em comparação com seus equivalentes a combustão. Em grande parte, isso é devido ao custo das baterias de alta capacidade. Embora os custos das baterias estejam diminuindo com o tempo devido aos avanços tecnológicos e à escala de produção, o custo inicial mais alto pode ser um fator limitante para alguns consumidores.

2.5.5. Disponibilidade de Modelos

Com o passar dos anos, o número de modelos de veículos elétricos (VE's) têm aumentado significativamente, porém a disponibilidade destes pode variar significativamente por região e mercado. Além disso, certos tipos de veículos, como caminhões e veículos utilitários esportivos (SUVs) elétricos, podem ser menos comuns do que seus equivalentes a combustão. Isso pode influenciar as escolhas dos consumidores e a adoção de VE's em determinadas categorias de veículos.

Portanto, ao avaliar os benefícios dos motores elétricos, é essencial considerar cuidadosamente essas limitações e como elas impactam a viabilidade e a aceitação dos veículos elétricos no mercado atual, não generalizando o item por suas características, e sim, tendo uma abordagem sobre como este será aceito.

2.6. Motores a combustão

2.6.1. Funcionamento básico

Os motores a combustão (figura 02 - motores) são fundamentados no princípio da conversão de energia química em energia mecânica. É um processo complexo que envolve etapas como a compressão da mistura ar-combustível, ignição e expansão dos gases resultantes para gerar trabalho mecânico.

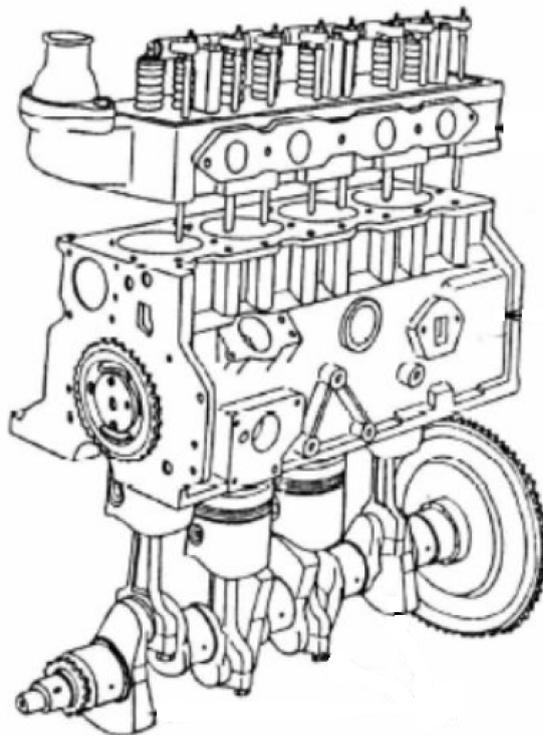


Figura 02

A combustão interna é o principal procedimento desse tipo de motor, ocorre dentro da câmara de combustão, envolvendo a mistura ar-combustível é inflamada, resultando em uma rápida expansão de gases que movimentam os pistões, convertendo a energia liberada em movimento rotativo.

2.6.2.Vantagens

Os motores a combustão são beneficiários de uma extensa rede de postos de combustível, que proporcionam grande conveniência aos usuários pois possibilitam o abastecimento em praticamente qualquer local, seja em áreas urbanas, suburbanas ou rurais. Essa infraestrutura estabelecida é crucial para a aceitação e adoção generalizada de veículos com motores a combustão. Além disso, outra vantagem desses motores é a rapidez no abastecimento, que ocorre quase instantaneamente, dependendo da capacidade do tanque e da eficiência da bomba de combustível. Em comparação com tecnologias emergentes, como veículos elétricos, que requerem tempos de recarga mais longos, essa rapidez confere uma eficiência prática aos motores a combustão, especialmente em percursos de longa distância.

2.6.3.Limitações

Os motores a combustão enfrentam limitações significativas que impactam tanto o meio ambiente quanto a eficiência operacional dos veículos. Um dos principais desafios é a emissão de poluentes atmosféricos durante o processo de queima do combustível. Esses poluentes contribuem diretamente para a poluição do ar e trazem consequências negativas para o meio ambiente, tornando essencial a busca por tecnologias que reduzam essas emissões.

Além disso, os motores a combustão geralmente apresentam uma eficiência inferior na conversão da energia do combustível em trabalho mecânico, devido à perda significativa de energia na forma de calor indesejado. Esse alto consumo de combustível não apenas eleva os custos operacionais dos veículos, mas também vai contra as preocupações crescentes relacionadas ao esgotamento de recursos não renováveis e às mudanças climáticas globais.

Outro ponto crítico é a necessidade de manutenção regular dos motores a combustão devido à sua complexidade mecânica. Atividades como troca de óleo, substituição de filtros e ajustes periódicos, são essenciais para garantir o desempenho consistente e a durabilidade dos motores ao longo do tempo. No entanto, essa manutenção constante representa custos adicionais e exige uma atenção contínua dos proprietários, em contraste com tecnologias mais recentes, como motores elétricos, que geralmente demandam menos intervenções e oferecem uma manutenção mais simplificada.

Em resumo, as limitações dos motores a combustão estão intimamente ligadas às emissões de poluentes, ao alto consumo de combustível e à necessidade frequente de manutenção, destacando a importância contínua do desenvolvimento de tecnologias mais limpas e eficientes para o futuro da mobilidade sustentável.

3. Metodologia

Objetiva-se, neste estudo, realizar a comparação entre motores elétricos e motores a combustão para veículos automotores. A população em análise se limitou a quatro modelos de carros presentes no mercado, sendo estes: VW UP Flex (A), VW UP TSI Flex (B), BYD Dolphin (C) e BYD Dolphin mini (D). Enquanto a amostra, irá consistir em uma seleção representativa desses veículos para análise, criando um ambiente para comparativo. Conforme na tabela 01, pode se observar um comparativo completo entre os quatro modelos anteriormente mencionados:

Característica	VW UP 1.0	VW UP TSI	BYD Dolphin	BYD Dolphin Mini
Motor	1.0 Flex	1.0 TSi Flex	Elétrico	Elétrico
Potência (cv)	75 (E) / 84 (G)	105 (E) / 116 (G)	177	95
Torque (mkgf)	10,0 (E) / 10,7 (G)	16,5 (E) / 16,8 (G)	32	12
0 a 100 km/h (s)	15,4 (E) / 13,2 (G)	10,6 (E) / 9,9 (G)	7,9	13,7
Velocidade máxima (km/h)	175 (E) / 180 (G)	185 (E) / 195 (G)	160	100
Bateria (kWh)	-	-	48,7	27,2
Capacidade do tanque (L)	50	50	-	-
Potência de recarga (kW)	-	-	80	60
Tempo de recarga	-	-	30 min (80%)	40 min (80%)
Dimensões (CxLxA)	3,69 m x 1,64 m x 1,50 m	3,69 m x 1,64 m x 1,50 m	3,72 m x 1,77 m x 1,53 m	3,20 m x 1,71 m x 1,58 m
Entre-eixos (mm)	2.420	2.420	2.720	2.500
Altura do solo (mm)	163	163	150	110
Peso em ordem de marcha (kg)	1.001	1.056	1.520	1.160
Pneus	165/70 R14	175/65 R15	205/55 R16	175/65 R15
Porta-malas (L)	280	280	300	110
Freios	Discos dianteiros e traseiros			

Tabela 01: Comparativo entre modelos e marcas pesquisadas

Fonte: Autor 2024

A classificação metodológica presente nesta pesquisa é de natureza teórica, uma vez que não houveram coletas de dados presencialmente, sendo as informações obtidas exclusivamente por meio de fontes disponíveis banco de dados, como artigos científicos, relatórios técnicos e dados de fabricantes.

A pesquisa busca fontes confiáveis e atualizadas para embasar as análises, objetivando a imparcialidade para as comparações entre os dois tipos de motores, considerando aspectos como potência, torque, autonomia, tempo de recarga, emissões de poluentes, entre outros. Com isso, buscando um melhor resultado para a conclusão da pesquisa.

4. Resultados obtidos

A transição para a mobilidade elétrica tem se tornado um fenômeno global, impulsionado por pressões ambientais, inovações tecnológicas e incentivos governamentais. O desenvolvimento de novas tecnologias no setor automotivo reflete a busca por soluções mais eficientes e sustentáveis, acelerando a adoção de veículos elétricos (VEs). A comparação entre veículos elétricos e a combustão, embora não seja uma novidade, torna-se mais relevante à medida que os VEs se tornam mais acessíveis, eficientes e dotados de uma infraestrutura de recarga mais robusta.

Neste estudo, focamos na comparação entre os modelos VW UP (nas versões 1.0 e TSI) e o BYD Dolphin (em suas versões: padrão e mini), buscando evidenciar diferenças em termos de desempenho, eficiência e viabilidade de uso diário, além de apontar qual veículo é mais adequado para diferentes cenários de uso.

- Motor e Transmissão

A principal diferença entre os modelos em análise reside no tipo de motorização. O VW UP, com motores a combustão interna (Otto-cycle), utiliza a energia química da combustão de gasolina ou etanol para gerar movimento. O motor

1.0 MPI entrega 75 cv de potência e 9,7 kgfm de torque, enquanto o modelo TSI, com injeção direta e turboalimentado, produz até 105 cv e 16,8 kgfm de torque.

Por outro lado, o BYD Dolphin é equipado com um motor elétrico síncrono de ímãs permanentes, uma tecnologia que permite maior eficiência na conversão de energia elétrica em movimento. Com uma potência equivalente a 177 cv e torque de 29,6 kgfm, o motor elétrico não sofre perdas energéticas devido ao processo de combustão e não depende de uma caixa de câmbio complexa, uma vez que os VEs geralmente possuem apenas uma marcha.

A ausência de um sistema de transmissão tradicional nos VEs também contribui para uma maior suavidade na condução, já que não há mudanças de marcha perceptíveis. Esse fator, combinado com a entrega instantânea de torque, torna os veículos elétricos mais responsivos em diferentes condições de trânsito, especialmente em baixas velocidades.

- Potência e Torque

Os veículos elétricos, como o BYD Dolphin, possuem uma característica marcante: o torque máximo está disponível de forma imediata, desde o momento em que o acelerador é pressionado. No BYD Dolphin, o torque elevado, entregue de forma contínua, resulta em uma aceleração significativamente mais rápida quando comparado aos modelos VW UP.

Em contraste, os motores a combustão, como os do VW UP, desenvolvem torque máximo apenas em determinadas faixas de rotação. O modelo TSI, com motor turbo, melhora a resposta em baixas rotações, mas ainda apresenta um leve atraso (turbo lag) antes de atingir o pico de torque. Isso se traduz em uma aceleração menos imediata, especialmente em regimes de baixa rotação.

- Aceleração

Os VEs, por conta de seu torque instantâneo, oferecem uma aceleração mais vigorosa e linear. O BYD Dolphin, por exemplo, consegue atingir 100 km/h em cerca de 7,9 segundos, o que é notavelmente mais rápido do que o VW UP TSI, que necessita de 9,3 segundos para atingir a mesma marca. Essa diferença pode não ser perceptível em situações de uso urbano, mas em condições de estrada ou em ultrapassagens, a superioridade dos elétricos torna-se mais evidente.

Velocidade Máxima

Embora a aceleração dos veículos elétricos seja superior, a velocidade máxima tende a ser limitada. No caso do BYD Dolphin, a velocidade é geralmente restrita

eletronicamente a 160 km/h, visando a preservação da bateria e a otimização da autonomia. Em contraste, os veículos a combustão, como o VW UP, possuem uma velocidade máxima ligeiramente superior, com o modelo TSI atingindo até 184 km/h.

Autonomia e Abastecimento

A autonomia tem sido um dos maiores desafios enfrentados pelos veículos elétricos, embora avanços significativos estejam sendo feitos. O BYD Dolphin possui uma autonomia de aproximadamente 405 km com uma carga completa, dependendo das condições de condução. Entretanto, essa autonomia pode variar drasticamente em situações de uso intenso, como em estradas de alta velocidade, onde o consumo de energia é mais elevado.

Por outro lado, o VW UP a combustão, com um tanque de combustível de 50 litros, oferece uma autonomia que varia entre 600 e 700 km. Um veículo a combustão pode ser reabastecido em menos de 5 minutos, enquanto a recarga de um veículo elétrico pode levar entre 30 minutos (em estações de carga rápida) e várias horas (em carregadores domésticos).

- Infraestrutura de Recarga

A infraestrutura de recarga para veículos elétricos está em expansão, mas ainda não é tão abrangente quanto a rede de postos de combustíveis. Governos e empresas têm investido pesadamente na criação de pontos de recarga públicos e no desenvolvimento de tecnologias de carregamento mais rápidas, como carregadores ultra rápidos que prometem recargas completas em menos de 15 minutos. Entretanto, a disponibilidade dessas estações ainda varia muito entre regiões.

- Considerações Finais: Cenários de Uso

Com base nas características apresentadas, a escolha entre um veículo elétrico e um veículo a combustão deve considerar os diferentes cenários de uso e as particularidades dos usuários.

Uso Urbano – Centros das Cidades

Nos centros urbanos, os veículos elétricos, como o BYD Dolphin, são ideais. A emissão zero contribui para a redução da poluição do ar e do ruído, problemas críticos em grandes cidades. Além disso, muitos centros urbanos estão implementando zonas de baixas emissões, onde veículos a combustão podem ser taxados ou até mesmo proibidos. A recarga em áreas urbanas e o custo reduzido

por quilômetro rodado também tornam os VEs uma excelente escolha para trajetos diários curtos.

- Viagens Longas e Estradas

Para viagens longas, o VW UP a combustão é mais prático, devido à sua autonomia superior e à facilidade de reabastecimento rápido. A infraestrutura de recarga elétrica ainda é limitada em áreas rurais ou rodoviárias, tornando os veículos a combustão a escolha mais viável para viagens interestaduais ou por regiões com poucas estações de recarga.

- Regiões Rurais e Infraestrutura Limitada

Em áreas rurais, onde a infraestrutura de carregamento é escassa, o VW UP continua sendo a opção mais adequada. A ampla disponibilidade de postos de combustível garante maior conveniência para viagens longas ou uso diário em locais com grandes distâncias entre cidades.

- Uso Comercial ou Corporativo

Para empresas que operam frotas em áreas urbanas, os veículos elétricos podem ser uma excelente opção. A economia em combustível, a menor manutenção e os incentivos para eletrificação de frotas reduzem os custos operacionais a longo prazo.

A escolha entre veículos elétricos e a combustão vai além das questões técnicas e operacionais. Ela envolve também considerações ambientais, sociais e econômicas, que afetam tanto a decisão individual de compra quanto as políticas públicas e as estratégias de sustentabilidade das empresas.

- Aspectos Ambientais

A transição para a mobilidade elétrica é fortemente impulsionada por questões ambientais. Veículos elétricos (VEs) são vistos como uma solução para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e combater as mudanças climáticas. Ao contrário dos veículos a combustão, que emitem dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros poluentes, os VEs têm emissões diretas de poluentes locais próximas de zero. Isso faz uma diferença significativa em áreas urbanas densamente povoadas, onde a poluição do ar é um dos principais problemas de saúde pública.

Além disso, a produção de energia elétrica está se tornando cada vez mais limpa à medida que as fontes renováveis, como a solar, eólica e hidrelétrica, ganham espaço na matriz energética global. Portanto, embora a produção de veículos

elétricos ainda envolva emissões de CO₂, especialmente no processo de fabricação de baterias, essas emissões podem ser compensadas durante o ciclo de vida do veículo se ele for carregado com energia de fontes renováveis.

Por outro lado, veículos a combustão, como o VW UP, continuam a depender de combustíveis fósseis, cujas emissões são diretamente associadas ao aquecimento global. Além das emissões durante o uso, a extração, refino e transporte do petróleo também geram impacto ambiental significativo. Embora a eficiência energética de motores a combustão tenha melhorado nas últimas décadas, essas melhorias não são suficientes para neutralizar seu impacto ambiental em comparação com os VEs.

Outro ponto crítico é o ciclo de vida das baterias dos VEs. A extração de matérias-primas como lítio, cobalto e níquel, necessárias para a produção de baterias, pode causar danos ambientais se não for feita de maneira responsável. No entanto, a reciclagem de baterias e o avanço das tecnologias de segunda vida (utilização de baterias usadas para armazenamento de energia) estão se desenvolvendo rapidamente, mitigando parte desse impacto. Já os veículos a combustão, ao final de sua vida útil, contribuem para a poluição do solo com resíduos perigosos, como óleo e fluídos automotivos.

- Aspectos Sociais

Do ponto de vista social, a mobilidade elétrica pode transformar radicalmente os padrões de vida, especialmente nas grandes cidades. A redução da poluição sonora, uma vez que os motores elétricos são silenciosos, traz um impacto positivo para a qualidade de vida urbana. Ruas menos barulhentas e ar mais limpo favorecem a saúde pública, reduzindo a incidência de doenças respiratórias e problemas relacionados ao estresse.

Entretanto, a transição para a mobilidade elétrica também apresenta desafios sociais, particularmente em relação ao emprego. A fabricação de veículos elétricos envolve menos componentes e requer menos manutenção, o que pode resultar na diminuição de postos de trabalho na cadeia produtiva tradicional da indústria automotiva. Por outro lado, novos empregos estão sendo gerados em setores como a produção de baterias, desenvolvimento de softwares e infraestrutura de recarga. Assim, a transição precisa ser acompanhada de políticas públicas voltadas para a requalificação da força de trabalho.

Além disso, o acesso aos VEs ainda é uma questão importante. Em muitos países, o custo inicial mais elevado de um veículo elétrico em comparação aos modelos a combustão pode restringir seu uso a uma parte da população com maior poder aquisitivo. Isso cria uma disparidade no acesso aos benefícios ambientais e econômicos proporcionados pelos VEs. Para enfrentar esse problema, muitos governos oferecem incentivos fiscais, subsídios e isenções de impostos para tornar os VEs mais acessíveis, além de priorizarem o transporte público eletrificado, que democratiza o acesso à mobilidade limpa.

Outro aspecto social relevante é a mobilidade em áreas remotas ou de menor infraestrutura. Regiões rurais ou cidades pequenas, que ainda carecem de estações de recarga para veículos elétricos, podem não estar prontas para essa transição, mantendo os veículos a combustão como a opção mais prática para os habitantes. Nesse cenário, a ampliação da infraestrutura de recarga em áreas menos urbanizadas torna-se essencial para garantir que a transição para a mobilidade elétrica seja inclusiva e não se limite a centros urbanos e grandes cidades.

- Aspectos Econômicos

Economicamente, a escolha entre veículos elétricos e a combustão também é um fator decisivo. Inicialmente, o custo de aquisição de um VE, como o BYD Dolphin, tende a ser mais elevado do que o de um veículo a combustão, como o VW UP. Isso se deve principalmente ao custo das baterias, que ainda representa uma parcela significativa do preço total do veículo. No entanto, os custos operacionais ao longo da vida útil de um VE são consideravelmente menores. A eletricidade necessária para recarregar um VE é mais barata do que os combustíveis fósseis, e a manutenção de um VE é simplificada devido à ausência de muitos componentes de desgaste comum em veículos a combustão, como o sistema de escapamento, embreagem, filtros e correias.

Além dos custos de manutenção reduzidos, muitos países oferecem incentivos econômicos para quem opta por veículos elétricos, como isenção de IPVA, descontos em pedágios e tarifas reduzidas em zonas de restrição ambiental. Tais políticas públicas visam tornar os VEs mais competitivos e acelerar sua adoção.

Por outro lado, a alta dependência dos VEs de componentes específicos, como as baterias, pode trazer uma vulnerabilidade econômica. A cadeia de produção de baterias é concentrada em poucos países, o que pode resultar em

flutuações nos preços e dificuldades logísticas, como a que foi observada durante a pandemia de COVID-19.

Para o consumidor, a decisão entre um veículo elétrico e um a combustão deve considerar o “custo total de propriedade”, que inclui não apenas o preço de compra, mas também os custos de operação, manutenção e eventual revenda. Veículos elétricos têm tendência a manter um valor de revenda mais elevado, especialmente em mercados onde a infraestrutura de recarga está bem estabelecida e a demanda por veículos sustentáveis está crescendo.

Finalmente, em termos macroeconômicos, a transição para a mobilidade elétrica pode afetar significativamente as economias dependentes da produção de petróleo, enquanto favorece a criação de novas cadeias de valor baseadas em energias renováveis e novas tecnologias. O desenvolvimento de uma economia verde, centrada na produção de eletricidade limpa e na fabricação de componentes para VEs, pode gerar novos polos de crescimento econômico.

5. Conclusão

Com base na análise comparativa entre o VW UP e o BYD Dolphin, foi possível identificar que veículos elétricos e a combustão apresentam características distintas que os tornam mais adequados para diferentes cenários. O BYD Dolphin, com sua entrega instantânea de torque, superioridade em aceleração e operação silenciosa, é ideal para ambientes urbanos. A autonomia elétrica de 405 km, embora limitada quando comparada a veículos a combustão, é suficiente para deslocamentos dentro da cidade, especialmente com a expansão da infraestrutura de recarga. Sua operação de baixo impacto ambiental e custos reduzidos de manutenção também tornam o veículo elétrico uma escolha viável para consumidores preocupados com a sustentabilidade e os custos operacionais a longo prazo.

Por outro lado, o VW UP, especialmente em sua versão TSI, apresenta vantagens em viagens de longa distância e em áreas onde a infraestrutura de recarga elétrica é limitada. Com autonomia maior em relação ao Dolphin e a capacidade de reabastecimento em poucos minutos, o UP é mais adequado para cenários que exigem flexibilidade de rota e tempo. Além disso, o menor custo de aquisição inicial e a disponibilidade de postos de combustíveis amplamente

distribuídos fazem do VW UP uma escolha prática para regiões rurais e para aqueles que priorizam a praticidade imediata.

Portanto, a escolha entre um veículo elétrico ou a combustão depende diretamente das necessidades do usuário. Para quem se desloca majoritariamente em áreas urbanas, onde o foco está na eficiência energética, sustentabilidade e menor custo operacional, o BYD Dolphin se mostra uma opção mais alinhada às tendências modernas. Já para aqueles que necessitam de maior autonomia, facilidade de reabastecimento e um custo inicial mais acessível, o VW UP ainda é a escolha mais adequada.

6. Referências

Heywood, J. B. (1988). "Internal Combustion Engine Fundamentals." McGraw-Hill Education.

YOUNG, Hug D.; FREEDMAN, Roger A. Física III. Eletromagnetismo. 14. ed. [S. l.]: Pearson Universidades, 2015. 488 p. v. 3. ISBN 978-8543015910.

HUGHES, Austin; DRURY, Bill. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. 4. ed. [S. l.]: Newnes, 2013. 440 p. ISBN 0080983324.

Stone, R. (1999). "Introduction to Internal Combustion Engines." Macmillan International Higher Education.

Taylor, C. F. (1985). "The Internal Combustion Engine in Theory and Practice." The MIT Press.

Carr, M. (2017). "Electrification of Transport: Energy and Environmental Implications." Annual Review of Environment and Resources, 42, 353-375.

EIA (U.S. Energy Information Administration). (2020). "Electric Vehicle Sales and U.S. Vehicle Fleet." [Online]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=42795>

Mullen, S. (2019). "Fast Charging vs. Supercharging: What's the Difference?" Edmunds. [Online]. Available: <https://www.edmunds.com/electric-car-charging/fast-charging-vs-supercharging-what-s-the-difference.html>

EEA (European Environment Agency). (2021). "Monitoring CO2 emissions from new passenger cars in the EU." [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/co2-emissions-from-passenger-cars-8/assessment>

ELECTRIC Vehicles. Tesla © 2023. [S. l.], 23 ago. 2023. Disponível em: <https://www.tesla.com/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

ABB OY. Motors and Generators: Manual for induction motors and generators. N (2024-02-26). Helsinki, Finland, 2024. 154 p. Disponível em: <https://library.abb.com/d/3BFP000050R0101>. Acesso em: 13 maio 2024.