



Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Controle e Automação



Marcelo Henrique de Azevedo

Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro

Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Ouro Preto, 2018

Marcelo Henrique de Azevedo

Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis.

Ouro Preto, 2018

A994c

Azevedo, Marcelo Henrique .

Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro [manuscrito] / Marcelo Henrique Azevedo. - 2018.

51f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo José Reis.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Carro elétrico. 2. Motor elétrico. 3. Petróleo. 4. Eletricidade. I. Reis, Agnaldo José . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Monografia defendida e aprovada, em 18 de dezembro de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis - Orientador



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado



Prof. Me. Diógenes Viegas Mendes Ferreira – Professor Credenciado Convidado

Resumo

Apresenta-se neste trabalho um estudo bibliográfico com o objetivo de identificar as possíveis causas e dificuldades de inserção competitiva do carro elétrico no mercado brasileiro. Inicialmente são mostrados alguns conceitos para nos contextualizar e familiarizarmos com o objeto de estudo, o carro elétrico. Posteriormente são abordadas questões energéticas, ambientais e econômicas, bem como o progresso sustentável e suas perspectivas. Por fim houve uma discussão sobre os aspectos políticos e filantrópicos relevantes sobre o assunto afim de comparar e reconhecer as possíveis barreiras que impedem o estímulo desse tipo de tecnologia e o progresso nesse ramo tecnológico.

Palavras-chaves: carro elétrico, motor elétrico, petróleo, eletricidade.

Abstract

This paper presents a bibliographic study with the objective of identifying the possible causes and difficulties of competitive insertion of the electric car in the Brazilian market. Initially some concepts are shown to contextualize and familiarize us with the object of study, the electric car. Subsequently, energy, environmental and economic issues are addressed, as well as sustainable progress and perspectives. Finally, there was a discussion on the relevant political and philanthropic aspects of the subject in order to compare and recognize the possible barriers that impede the stimulation of this type of technology and the progress in this technological branch.

Key-words: electric car, electric motor, petroleum, electricity.

Lista de ilustrações

Figura 1	Primeiro veículo elétrico a chegar a 100 km/h ^[6]	15
Figura 2	Gurgel Itaipu E-400 ^[9]	17
Figura 3	Toyota Prius ^[10]	17
Figura 4	Motor CC em corte ^[13]	18
Figura 5	Motor de indução com rotor em gaiola de esquilo ^[15]	19
Figura 6	Comparação entre diferentes tipos de motores ^[15]	22
Figura 7	Cabeçote – motor 4 cilindros ^[21]	29
Figura 8	Bloco do motor ^[21]	29
Figura 9	Cárter e junta de vedação ^[21]	30
Figura 10	Motor quatro tempos ^[23]	33
Figura 11	Comparação entre combustíveis ^[24]	34
Figura 12	Diagrama Ciclo Otto ^[25]	34
Figura 13	Diagrama Ciclo Diesel ^[25]	35
Figura 14	Despesas de manutenção do carro elétrico e do carro a combustão ^[29]	39
Figura 15	Comparativo 1 entre veículos, um modelo elétrico e um modelo a combustão ^[29]	40
Figura 16	Comparativo 2 entre veículos, um modelo elétrico e um modelo a combustão ^[29]	40
Figura 17	Esquema de produção de energia eólica ^[31]	42
Figura 18	Índice de radiação solar anual no Brasil ^[33]	43

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo Geral	14
1.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Justificativa	14
1.4	Metodologia	14
2	CARROS ELÉTRICOS	15
2.1	História Do Carro Elétrico	15
2.2	Funcionamento Do Motor Elétrico	18
2.2.1	Motor de corrente contínua	18
2.2.2	Motor de indução	19
2.2.3	Motor síncrono de ímã permanente	19
2.2.4	Motor de relutância comutada	20
2.2.5	Motor ideal para carros elétricos	20
2.3	Fontes E Armazenamento De Energia	20
2.3.1	Bateria de hidreto metálico de níquel	20
2.3.2	Bateria de chumbo-ácido	21
2.3.3	Bateria de sal fundido do tipo Zebra	21
2.3.4	Bateria de íon-lítio	21
2.4	Eficiência Energética	21
2.4.1	Comparação de motores	22
2.4.2	Baterias e suas especificações	22
3	CARROS A COMBUSTÃO	25
3.1	História Do Carro A Combustão	25
3.2	Estrutura E Funcionamento Do Motor De Combustão Interna	28
3.3	Fontes De Energia	35
3.3.1	Petróleo e subprodutos	35
3.3.1.1	Gasolina	36
3.3.1.2	Gás natural	36
3.3.1.3	Diesel	36
3.3.2	Biocombustíveis	36
3.3.2.1	Etanol	36
3.3.2.2	Biodiesel	36
3.4	Eficiência Energética	36

4	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	39
4.1	Uma Comparação De Custos E Eficiência Entre O Carro Elétrico E O Carro A Combustão	39
4.2	A Eletricidade Como Alternativa Limpa E Econômica	41
4.2.1	Energia eólica	41
4.2.2	Energia solar	42
4.3	Motor De combustão Interna <i>versus</i> Motor Elétrico: Impacto Ambiental	43
4.4	Políticas E Mercado, Produção E Pessoas	44
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	47
5.1	Considerações Finais	47
5.2	Sugestões De Trabalhos Futuros	47
	Referências	49

1 INTRODUÇÃO

A história do carro elétrico, ao contrário de como muitos pensam, não é recente. Começa no século XIX junto aos avanços das baterias elétricas ^[1]. Desde sua invenção até os dias de hoje, sempre esteve à margem se comparado aos carros com motor a combustão interna. De acordo com Doe ^[2] o declínio considerável começa no início do século XX com o sistema de produção de Ford que diminuiu o preço dos veículos movidos à gasolina e com a descoberta de reservas de Petróleo no Texas que baratearam o combustível não renovável. Com o maior rendimento do motor a combustão interna e a facilidade de transporte de combustíveis líquidos, a rede de distribuição de gasolina se expandiu rapidamente, tornando os carros elétricos ainda mais inviáveis.

Os carros elétricos voltaram a chamar a atenção na segunda metade do século XX, quando o mundo começava a discutir questões ambientais com mais profundidade. A crise do petróleo, a consciência do uso abusivo de fontes não renováveis e a emissão de gases poluentes contribuíram para a sua reabilitação ^[3]. Porém, seu uso ainda é inexpressivo nos dias de hoje. Companhias petroleiras por anos pressionam e prejudicam a disseminação desse tipo de tecnologia.

No Brasil, no ano de 1981, o E-400 foi desenvolvido sendo o primeiro carro elétrico nacional produzido em larga escala. Porém sua baixa velocidade e autonomia o fizeram sair de linha. Alguns outros projetos foram desenvolvidos posteriormente, muitos deles por pequenos grupos ou vinculados às universidades. Em 7 estados os veículos elétricos ganham isenção total de impostos e em outros 3 a isenção parcial. Na cidade de São Paulo foi aprovada a lei de estímulo ao uso do carro elétrico, diminuindo em 50% o IPVA de quem usa o veículo e isentando-o do rodízio municipal ^[4].

Diante da hegemonia mundial do petróleo, o Brasil não ficou de fora da corrida. Em 2017 o país estava entre os 10 maiores produtores do mundo segundo a Internacional Energy Agency. De acordo com o Ministério de Minas e Energia o programa ProÁlcool fez com que os biocombustíveis, como o álcool extraído da cana-de-açúcar, se tornassem hoje a segunda fonte energética mais utilizada por automóveis no Brasil. Dentro desse cenário, o carro elétrico parece ter sido esquecido, assim como a preocupação com aumento da frota de veículos e da poluição gerada da queima de combustíveis.

Mas afinal, o que impede o carro elétrico de ganhar um pequeno espaço no mercado brasileiro? Alguns países, mesmo com a pouca variedade de modelos elétricos e híbridos disponíveis mundialmente e com as vantagens de outros combustíveis, já têm quase 5% de

sua frota composta por veículos “limpos”. Os modelos mais recentes de carros elétricos possuem uma eficiência aceitável e têm recebido bastante elogios de seus usuários. Haveria como implementar uma estrutura que aceitasse o carro elétrico no país, estimulando seu uso e em consequência favorecendo um desenvolvimento sustentável?

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo identificar quais aspectos que dificultam o crescimento competitivo de carros elétricos no Brasil e propor estratégias para viabilizar a implantação desse tipo de tecnologia no país.

1.2 Objetivos Específicos

Contextualizar o problema e fazer uma análise através das seguintes questões:

- como é o funcionamento do carro elétrico;
- como é o funcionamento do carro a combustão;
- quais são os combustíveis automotores que têm destaque nacional;
- quais as vantagens futuras para um desenvolvimento sustentável.

1.3 Justificativa

Este estudo sobre a inserção de carros elétricos de forma competitiva no Brasil se justifica na medida em que as causas da dificuldade de crescimento desse meio de transporte ainda são bem ofuscadas.

Quando falamos em desenvolvimento sustentável, questões como baixa geração de poluentes e utilização de fontes “limpas” de energia parecem andar lado a lado com uso de veículos elétricos, ou seja, é um tema de importância para nosso futuro que merece uma exploração mais ampla.

1.4 Metodologia

Através de uma pesquisa documental de caráter descritivo, foi feito um levantamento teórico sobre o assunto. Posteriormente serão apresentadas análises qualitativas e quantitativas no intuito de identificar as possíveis causas do problema central levantado no trabalho.

2 CARROS ELÉTRICOS

Neste capítulo serão abordadas algumas questões relativas ao carro elétrico para melhor compreensão do trabalho proposto. Para tal se faz necessário um breve histórico desse tipo de automóvel, bem como uma descrição do seu funcionamento e de suas características principais.

2.1 História Do Carro Elétrico

No século XIX a Revolução Industrial pedia a substituição do trabalho braçal pelo trabalho com uso de máquinas automáticas. Por esse motivo, a demanda de recursos energéticos e de tecnologias que aproveitassem da melhor forma esses recursos aumentou drasticamente. Surgem então as primeiras sociedades focadas em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia [5].

Nesse cenário, nos Estados Unidos, o primeiro automóvel elétrico foi criado pelo ferreiro Thomas Davenport e daí em diante foram desenvolvidos vários tipos de veículos movidos a eletricidade, principalmente os que andavam sobre trilhos.

**THE 100-MILE
Fritchle Electric
IS GUARANTEED**

to travel 100 miles to the single charge — over city streets or country roads.

We are now ready to close 1909 Agencies. Write for our proposition.

**VICTORIA PHAETON
\$2000**
Complete line includes all styles

STORAGE
CENTRAL GARAGE
1310-12 NEW YORK AVE.
GASOLINE AND ELECTRIC CARS
STORED AND REPAIRED
PHONE, MAIN — 3444
WASHINGTON, D. C. December 10, 1908.

SUPPLIER

TO WHOM IT MAY CONCERN:

This is to certify that we charged Mr. Fritchle's Electric Automobile and assisted in running down the car. When the car left the garage, the odometer registered 2130 miles and when it returned the next day, it registered 2230 miles, showing that 100 miles had been run on one charge. We are positive that the car was not recharged anywhere in the meantime.

Roll C. Gungler, Charge

The above letter is respectfully submitted as absolute proof of our "100 mile per charge" claim — in this particular instance, however, the mileage having been made by a Fritchle Electric immediately after the completion of an overland tour from Lincoln, Neb., to New York City, thence to Washington, D. C. through hundreds of miles of mud and over the Allegheny mountains.

Art Catalogue showing entire line of open and closed cars mailed on request

The Fritchle Automobile & Battery Co.
1449-1455 Clarkson St., Denver, Colorado

Figura 1 – Primeiro veículo elétrico a chegar a 100 km/h [6].

A importância estratégica dos veículos motorizados foi primeiramente verificada no início do Século XX. Os veículos motorizados foram imprescindíveis para o deslocamento e o abastecimento das tropas durante a Primeira Guerra Mundial [7].

As limitações de recursos energéticos durante as duas Guerras Mundiais, demandou a necessidade de se investir em estudos para desenvolver alternativas energéticas e, apesar de um período caótico principalmente para os países diretamente envolvidos, as guerras trouxeram grande avanço tecnológico ao que discorre os recursos energéticos alternativos. Infelizmente, os investimentos em pesquisas às fontes de energias alternativas ao petróleo não foram suficientes e esse ainda se manteve economicamente mais viável à produção de energia [4].

Os veículos elétricos não se mostravam muito atrativos à guerra. Suas baterias, apesar de sofrerem diversas melhorias ao longo dos anos, ainda tinham custo de produção muito elevado e um rendimento baixo se comparadas a outros recursos energéticos como petróleo e carvão.

Somente na década de 70 os veículos elétricos voltam a ganhar destaque. A Crise do Petróleo aumentou o preço do recurso em 400%, causando desestruturação na economia mundial. Questões ambientais começaram a ser debatidas e o ser humano passa a ter noção dos danos causados ao meio ambiente pelo rápido crescimento dos automóveis. A partir daí nascem novas ideias para reverter este quadro, dentre elas estão a utilização de energias limpas e dos veículos elétricos, em especial dos utilizados para o transporte público [8]. Segundo Baran e Legey [3] “houveram diversas iniciativas de trazê-los de volta ao mercado no período, mas nem os automóveis elétricos puros nem os híbridos estavam aptos a competir no mercado com os automóveis convencionais”.

Já na década de 80, o conceito de desenvolvimento sustentável ganhou mais força e o mundo passa a se concentrar na criação de novas tecnologias e em fontes energéticas alternativas no intuito de gerar menos poluição no planeta. No Brasil a frota de ônibus elétricos trólebus (veículos alimentados por uma catenária de dois cabos superiores) começaram a crescer. Uma parceria criada pela estatal Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU), juntamente com o BNDE (atual BNDES) e o Ministério dos Transportes, criou diversos outros sistemas por todo o país, recebendo recursos para melhoria das ruas e avenidas das cidades, reformas, renovação e reestruturação das linhas elétricas e renovação das frotas veiculares [8]. O E-400, um utilitário criado entre os anos de 1980 e 1983, foi o primeiro carro elétrico produzido em série no Brasil [9].



Figura 2 – Gurgel Itaipu E-400 [9].

A partir dos anos 90 o estímulo ao uso de carros elétricos e híbridos foi só aumentando. Novas tecnologias começaram a surgir e os países começaram a incentivar o uso através de leis e de regalias. Em 1990, o estado da Califórnia implementou suas primeiras normas regulatórias de emissão zero. Em 1992, a Agenda 213 enfatizou a importância dos problemas causados pelo uso extensivo de energia fóssil, bem como a necessidade de redução do consumo de energia nos países desenvolvidos e de busca de uma possível transição para fontes renováveis de energia. Ainda no ano de 1992, a União Europeia definiu uma política de transportes por meio da expressão “uma estratégia para a mobilidade sustentável” [3].

Junto a esse movimento, existia um movimento contrário muito forte, o das grandes companhias de petróleo, que tentavam barrar essas políticas a todo custo, objetivando somente o lucro máximo. Já no final da década de 90 e início do século XXI um automóvel híbrido de destaque mundial nasce, o Prius da Toyota. Nos dias atuais ele representa quase 50% do mercado de híbridos e possui um alto grau de satisfação [3].



Figura 3 – Toyota Prius [10].

No Brasil no ano de 2012, foram registrados 115 carros elétricos, sendo que em 2013 houve um aumento de 389 carros elétricos em relação ao ano anterior, a maior parte veículos híbridos, segundo dados da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos

Automotores (ANFAVEA, 2016). A passos curtos o país vai tentando se encaixar dentro dos bons costumes para um crescimento sustentável através de leis fiscais de estímulo, mas a infraestrutura extremamente escassa e os altos impostos que encarecem os veículos são grandes degraus ao objetivo, que é uma frota minimamente aceitável deste tipo de automóvel. Alguns países, como os Estados Unidos, já têm mais de 4% da sua frota formada por veículos elétricos (puros e híbridos). Ainda é pouco comparando com o restante que está emitindo poluentes na atmosfera incessantemente. O mundo pede ajuda e é dever de cada país se responsabilizar e tomar as devidas providências diante desse quadro delicado.

2.2 Funcionamento Do Motor Elétrico

O princípio de funcionamento do motor elétrico é converter energia elétrica em energia mecânica usada para tracionar e gerar movimento. Segundo Nasser e Asaei [11] “os cinco tipos de motores mais usados em veículos elétricos são: motor de corrente contínua (CC), motor de indução, motor síncrono de ímãs permanentes PMS (ou BLAC), motor de relutância comutado SRM e motor CC sem escovas BLDC”.

2.2.1 Motor de corrente contínua

Um motor CC nada mais é do que um motor alimentado por corrente contínua (CC), sendo esta alimentação proveniente de uma bateria ou qualquer outra de alimentação CC. A sua comutação (troca de energia entre rotor e estator) pode ser através de escovas (escovado) ou sem escovas (*brushless*) e com relação a velocidade, o motor CC pode ser controlado apenas variando a sua tensão, diferentemente de um motor elétrico de corrente alternada (CA) cuja a velocidade é variada pela frequência. Os motores de corrente contínua possuem dois tipos de configuração. A configuração “*shunt*” onde os enrolamentos do indutor e do induzido estão ligados em paralelo, o que permite a operação em velocidade constante. E a configuração em série, onde a potência é constante. A configuração em série e escovado é a mais utilizada em veículos elétricos, pois possui características como ampla variação de velocidade, controle relativamente fácil e velocidade ideal para tração [12].

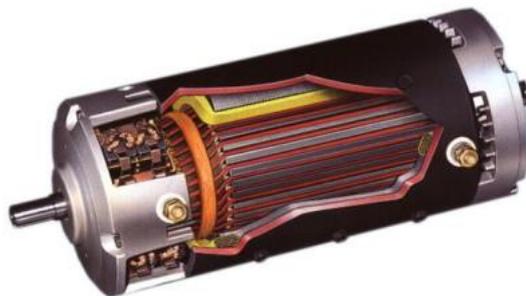


Figura 4 – Motor CC em corte [13].

2.2.2 Motor de indução

O motor de indução funciona por corrente alternada e é construído de tal maneira que se têm dois campos magnéticos girantes. O campo magnético do rotor tende a alinhar-se com o campo do estator sendo induzida uma força eletromotriz que produz o movimento de rotação do rotor. A velocidade de rotação do rotor, tem um ligeiro atraso em relação ao campo magnético girante, devido à carga aplicada ao motor, daí a designação de motor assíncrono [14]. O rotor em gaiola de esquilo é o mais utilizado em automóveis por não conter escovas, sendo mais barato e exigindo menos manutenções. Porém seu torque de arranque não é muito elevado resultando em uma rotação inicial lenta. Novas tecnologias de motores de indução têm chamado atenção de algumas marcas de automóveis eléctricos.



Figura 5 – Motor de indução com rotor em gaiola de esquilo [15].

2.2.3 Motor síncrono de ímã permanente

Segundo Chapman [16] o princípio básico de operação de um motor síncrono de ímã permanente (PMAC) é que a corrente de campo produz um campo magnético estacionário. Da mesma forma as correntes circulantes no estator do motor síncrono produzirão um campo magnético girante. Assim, existem dois campos presentes no motor e o campo do rotor tenderá a se alinhar com o campo do estator à medida que este gira. Possuem torque elevado e são relativamente pequenos se comparados aos motores de indução para uma mesma potência. Podem ser do tipo BLDC (Brushless DC) ou PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Segundo Larminie e Lowry [17] “o motor BLDC é na verdade um motor CA, chama-se Brushless DC porque foi desenvolvido a partir do motor DC com escovas e porque as características de velocidade e binário são muito semelhantes aos motores CC com escovas”. O motor BLDC (Brushless DC) é também conhecido por ECM (Electronically Commutated Motor), não possui escovas sendo a comutação feita eletronicamente. Assim este tipo de motor não tem os problemas associados à comutação por escovas, no entanto o controle acrescenta um custo considerável na sua aplicação. A comutação da corrente, entre os enrolamentos do estator, deve ser sincronizada com a posição do rotor, para tal são usados sensores, sendo comum usar sensores de efeito Hall e

sensores ópticos. Os motores PMSM requerem uma alimentação com onda senoidal, podem ter os ímãs montados à superfície do rotor ou em posição interior, tem um controle mais complexo do que os BLDC, e necessitam de um sensor de corrente por cada fase (caso sejam trifásicos). São motores propícios a aplicações que necessitem de elevado desempenho [15].

2.2.4 Motor de relutância comutada

Um motor de relutância comutada (SRM) funciona através da manipulação de forças eletromagnéticas. Estes motores consistem tipicamente de um rotor, que é tipicamente composto de ferro e eletromagnetos. Estes não são eletroímãs com coerência. Em vez disso, ligam e desligam para estabelecer polos no rotor ferromagnético. Este tipo de rotor permite o funcionamento a temperaturas elevadas. É uma vantagem em relação aos motores de ímãs permanentes, pois nesses, as altas temperaturas desmagnetizariam os ímãs [15].

2.2.5 Motor ideal para carros elétricos

A escolha de motor elétricos para os veículos depende de diversas características como potência, custo, rendimento, controlabilidade e tração. Além disso, os motores com rotor bobinado são pouco usuais, devido a presença de escovas que obrigam manutenção frequente. As faixas de velocidade de operação também determinam qual o motor ideal para cada caso [15].

2.3 Fontes E Armazenamento De Energia

A bateria é o dispositivo que armazena energia e alimenta o motor elétrico para subsequente geração de movimento. As baterias mais utilizadas em veículos elétricos no mundo são as de bateria de hidreto metálico de níquel (NiHM). As baterias de chumbo-ácido (PbA), a bateria de sal fundido do tipo Zebra (*Zero Emission Battery Research Activity*) e a de íon-lítio são também comumente utilizadas. Vale lembrar que possuem um tempo de autonomia e precisam ser recarregadas (baterias recarregáveis são denominadas secundárias) com frequência através de uma fonte externa [3].

2.3.1 Bateria de hidreto metálico de níquel

A bateria níquel-hidreto metálico (NiHM) possui uma liga metálica com alta capacidade de armazenamento de hidrogênio que proporciona alta densidade de energia e alta capacidade da bateria. Possui alta resistência à oxidação e um número grande de ciclos de carga e descarga [18]. Segundo Castro e Ferreira [3] uma das suas desvantagens é não poder ser descarregada por completo, o que prejudica seu uso em carros elétricos

puros. Por não possuir metais como chumbo ou cádmio, reduz o problema de contaminação ambiental por metais pesados.

2.3.2 Bateria de chumbo-ácido

Baterias de chumbo-ácido são extremamente agressivas ao meio ambiente. Os metais pesados contidos nelas obrigam uma recuperação do metal pesado e um cuidado adequado nos seus descartes. São usadas em veículos em geral para alimentar os sistemas de partida, iluminação e ignição. As baterias industriais são utilizadas para tracionar motores de veículos elétricos e também em serviços que não podem ser interrompidos em caso de queda de energia elétrica (*nobreak*) [19]. É a mais comum em veículos convencionais à combustão, sendo que os veículos elétricos comercializados em geral utilizam outras tecnologias.

2.3.3 Bateria de sal fundido do tipo Zebra

Segundo Castro e Ferreira [3] a bateria do tipo Zebra é uma tecnologia relativamente madura, mas que têm como limitação a necessidade de aquecimento para cerca de 270 °C para funcionamento (temperatura necessária para manter o sal na fase líquida), o que consome bastante energia. Sua vantagem é não conter materiais tóxicos, como as de chumbo-ácido. Outro fator limitante é possuir apenas um fabricante, a FZ Sonick.

2.3.4 Bateria de íon-lítio

A bateria de íon-lítio representa um grande avanço tecnológico para os veículos elétricos. As principais características das baterias de íons lítio são bom desempenho e segurança aos usuários. Além disso, o fato de empregarem materiais de baixa densidade permite que sejam projetadas para terem menor massa, tamanho e custo [19]. Possui baixa toxicidade se comparado as baterias de chumbo, causando danos ambientais menores. As baterias de íon-lítio constituem a maior aposta para equipar os veículos elétricos e híbridos. Como o lítio é um elemento pequeno e leve, as baterias à base de lítio apresentam maiores níveis de potência e energia por unidade de massa. A energia específica dessas baterias é duas vezes maior em comparação à energia das baterias NiMH e quatro vezes maior em relação aos níveis da bateria PbA [3].

2.4 Eficiência Energética

Quando se compara a eficiência energética de um veículo elétrico puro ou híbrido, temos que levar em conta uma série de características como o tipo de motor utilizado, o tipo de bateria, o sistema de controle, o sistema de refrigeração e outras diversas

particularidades. Focaremos em qual motor elétrico e qual bateria são utilizados fazendo uma comparação dentro de cada aspecto.

2.4.1 Comparação de motores

Os motores, mesmo que do mesmo tipo, costumam mudar suas características de fabricante para fabricante. Para melhor comparação segue uma avaliação feita por Freitas (2012) utilizando notas de zero à cinco, sendo zero muito ruim e cinco muito bom, em uma tabela (ver figura 6) com os motores comumente utilizados em veículos elétricos.

Tipo de motor	CC (c/escovas)	Indução	Ímãs permanentes	Relutância comutada
				
Densidade de potência	2,5	3,5	5	3,5
Rendimento	2,5	3,5	5	4
Controlabilidade	5	4	4	4
Fiabilidade	3	5	4	5
Maturidade tecnológica	5	5	4	4
Custo	4	5	3	4
Total	22	26	25	24,5

Figura 6 – Comparação entre diferentes tipos de motores [15].

Excluindo o custo, todos os pontos apresentados têm relação com a eficiência energética, já que essa está intimamente relacionada com o máximo aproveitamento de energia.

2.4.2 Baterias e suas especificações

Quando falamos de eficiência energética de uma bateria podemos destacar algumas especificações determinantes:

- Descarga: é a perda de carga de uma bateria com o tempo e com o uso;
- Efeito Memória: é a diminuição da retenção de carga devida a quantidade de ciclos de carga e descarga e a forma de carregamento;
- Energia específica: relaciona a quantidade de energia que uma bateria pode armazenar com a massa dessa bateria;

- Densidade de energia: relaciona a quantidade de energia que uma bateria pode armazenar com o volume que ela ocupa;
- Capacidade energética: representa o valor teórico de corrente que a bateria é capaz de fornecer durante uma hora de funcionamento;
- Vida útil: geralmente é contabilizada em número de ciclos de carga/descarga que uma bateria poderá alcançar.

Todas essas especificações variam de acordo com fabricante e ainda sofrem constantes evoluções, por isso não é possível fazer um comparativo tão exato. Apesar disso sabemos que as baterias NiMH e as de íon-lítios são as mais visadas devidas as suas características energéticas e aos seus custos.

3 CARROS A COMBUSTÃO

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão sobre carros a combustão apoiada no histórico desse tipo de automóvel, bem como uma descrição do seu funcionamento e de suas características principais encontradas na literatura.

3.1 História Do Carro A Combustão

Desde o século XVII, o homem vem procurando construir mecanismos que fornecessem movimento de maneira automática sem a necessidade de grandes esforços humanos ou animais [20, 21]. A ideia sempre foi atingir “grandes distâncias e certas velocidades maiores que as dos seus passos”. Baseado nisso, surgiu o motor de combustão interna, onde seria possível gerar e liberar energia através de “processos de combustão que ocorreriam no interior de um mecanismo próprio”, revolucionando assim as formas de produzir energia mecânica ao longo dos anos [20, 21, 22].

De forma cronológica é possível apresentar a evolução do motor de combustão interna desde sua origem [20, 21, 22].

- 1508- Relatos e documentos históricos indicaram que Leonardo da Vinci propunha a elevação de peso por meio de fogo.
- 1652- O padre Hautefoille teve a ideia de construir um motor à base da força expansiva de gases oriundos da combustão da pólvora num cilindro fechado. Porém, esse não registrou o assunto através de escrituras.
- 1680- Utilizando-se da explosão de pólvora, Christian Huygens, físico holandês desenvolveu o primeiro modelo do que seriam então, os motores de combustão interna. Dentro de um cilindro ocorria a explosão do combustível que levava à movimentação de um pistão, de forma que um peso era levantado devido à pressão atmosférica. A pólvora também foi utilizada como combustível para movimentar bombas de água, “engenharia” realizada por Sir Samuel Morland.
- 1687- Denis Papim desenvolveu o princípio de funcionamento de uma máquina a vapor com pistão.
- 1767- Um motor a vapor com sistema de resfriamento dos cilindros foi construído por James Watts.

- 1859- Através de válvulas de admissão, as quais introduziam gás e ar durante a primeira metade do movimento de um pistão, carga era queimada mediante faísca, e com o aumento da pressão os gases queimados empurravam o pistão até findar-se o primeiro movimento, este era o processo de funcionamento de um motor de dupla ação onde a combustão acontecia de ambos os lados do pistão. Motor esse construído por Jean Joseph Étienne Lenoir. Nesse motor, havia liberação dos gases através das válvulas de exaustão, depois do segundo movimento. Enquanto isso, do outro lado do pistão ocorria uma nova combustão. Uma produção de cerca de 5000 motores foi realizada. A potência era cerca de 6 cavalos, e o melhor valor de eficiência obtido foi perto de 5%.
- 1794- Foi obtida a patente de um motor de combustão interna. Esse contava com dois cilindros horizontais, cilindros bomba e de potência. O combustível líquido seria colocado diretamente no cilindro, resultando no primeiro motor a combustão interna com essa característica, no entanto Robert Steet, seu inventor, não construiu o motor proposto.
- 1797- B. Thompson, conde Rumford, se atentou à equivalência entre calor e trabalho durante a construção de um canhão.
- 1801- Um motor de combustão a gás com base na expansão dos gases produzidos durante a combustão de uma mistura de ar e gás inflado foi patenteado por Phillip Leben, inventor da iluminação a gás.
- 1821- Com uma mistura de ar e hidrogênio, W. Cecil desenvolveu o primeiro motor a combustão que funcionaria com sucesso.
- 1852- Jean Etienne Lenoir, influenciado pelos conhecimentos de Cecil, ingressou na construção de um motor. Seu próprio pioneirismo ocorreu na tentativa do seu primeiro motor fixo de explosão a gás em 1858. Trabalho esse que resultou em patente em 1860. A ideia de transformar movimento retilíneo em movimento de rotação surgiu a partir de então. Em 1863, Jean apresentava então um triciclo com motor a gás de hulha ou óleo leve (xisto ou alcatrão) vaporizado em carburador tipo primitivo de apenas 1,5 HP. Devido as dificuldades encontradas para colocar seu motor em funcionamento, destacou a importância de um mecanismo de ignição para o início do funcionamento dos motores de combustão interna. Apesar das inúmeras contribuições científicas e tecnológicas, Lenoir não compreendeu a relevância da mistura do combustível com o ar no processo da combustão para o aumento da produção de calor devido ao aumento da quantidade de oxigênio. O triciclo o possibilitou viajar pela Europa e ainda lhe rendeu o grande prêmio Argenteuil (corrida automobilística Paris – Joinville-leponte). Mas todo o sucesso não foi suficiente para levar à comercialização do triciclo.

- 1854- O primeiro motor de combustão de dois tempos foi construído por Dugald Clerk (o qual foi apresentado somente em 1881). Sendo a ignição por ponto quente nesse motor introduzida pelo alemão Gottlieb Daimler, o qual imaginou a diminuição do tamanho do motor de dois tempos. Esse tipo de ignição tornaria viável a construção dos automóveis anos mais tarde.
- 1857- Foi construído um motor de pistão livre à base da expansão de gases de combustão por Barsanti e Matteuci. Esse foi comercializado por Otto e Langen até 1867, fazendo assim, a primeira realização prática do motor a 4 tempos.
- 1862- A proposta e patente dos princípios de funcionamento dos motores de quatro tempos de combustão interna foram realizadas por Beau de Rochas. Apesar de suas características apresentarem condições de eficiência elevada, Beau nunca conseguiu construir seu motor.
- 1876- O alemão Nikolas August Otto construiu o conhecido motor Otto silencioso, após a invenção independente do mesmo ciclo descrito por Beau. Primeiramente, Otto, conhecendo o projeto e o motor, construiu um semelhante ao de Lenoir. Em 1878 apresentou seu motor na Feira Internacional de Paris, o primeiro motor a 4 tempos a utilizar gasolina (um primeiro tempo de admissão, segundo de compressão da mistura, terceiro de combustão e um quarto tempo para a exaustão). Juntamente com o engenheiro Eugen Langen, seu sócio, Otto fundou a primeira fábrica de motores a combustão do mundo, a N. A. Otto & Cia. Apresentando uma eficiência semelhante ao do motor anterior, o destaque apresentado agora por Otto foi “enorme redução em tamanho, peso e volume e o seu potencial para evolução no futuro”.
- 1883- A criação do motor monocíclico de quatro tempos, fez com que Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach transformassem de maneira significativa a indústria automobilística.
- 1886- Um motor com potência de cerca de 3/4 cavalos, velocidade de 15 km/h, refrigerado a água e que fazia a conexão entre transmissão e o diferencial através de uma correia, foi utilizado num automóvel com 3 rodas de bicicleta foi desenvolvido por Benz. Esse foi estabelecido como primeiro automóvel do mundo.
- 1892- Com um rendimento nunca antes obtidos em motores de combustão interna, Rudolf Diesel desenvolveu um motor que apresentava autoignição, isto é, era iniciada a combustão através da injeção de um combustível líquido para o ar, que aquecido apenas pela compressão, inflamava por si mesmo, permitindo o dobro de eficiência até então apresentado pelos motores da época. Até hoje utiliza-se seu motor nos transportes públicos do mundo, de cargas e automóvel.

- 1893- Diesel arquitetou o motor a diesel, que hoje leva o seu nome. O engenheiro alemão encontrava barreiras financeiras para desenvolver seu projeto, mas após uma tentativa frustrada que resultou em explosão e mais quatro anos de estudos e experimentos conseguiu elaborar um motor operacional. Alcançando velocidades e apresentando potência bem superiores, se comparado com aqueles existentes na época, esse motor atingia 600 rotações por minuto e o de Otto atingia apenas 130. Com o ciclo a pressão constante, elevou a eficiência de 16% para 26.2% e nasceu assim o motor de ciclo diesel.

Novas invenções surgiram, ao longo dos anos, contribuindo para o aumento da indústria dos motores de combustão interna e da indústria automóvel, tornando possível meios de transporte como o automóvel, o avião e até veículos militares [22].

3.2 Estrutura E Funcionamento Do Motor De Combustão Interna

Motor trata-se de uma máquina que converte qualquer forma de energia em trabalho mecânico. O motor de combustão interna transforma energia térmica (oriunda de uma reação química) em energia mecânica. Nessas máquinas térmicas, o combustível é queimado no interior do cilindro motor, como os motores a gasolina, a diesel e aqueles que têm como combustível o metano. Diferentemente nos motores de combustão externa, ou exotérmicos, onde o combustível é queimado numa estrutura externa ao cilindro motor, como os motores a vapor.

Os componentes principais de um motor são aqueles responsáveis por estabelecer condições favoráveis para que o processo de conversão da energia química dos combustíveis nos motores se realize de forma eficiente e contínua [20, 21]. Esses componentes de extrema importância de um motor de combustão interna se dividem em dois grupos: os das partes fixas e os das partes móveis. Os motores apresentam componentes que não se movimentam quando esse se encontra em funcionamento, sendo esses pertencentes à parte fixa, enquanto que as partes móveis são aquelas que se movimentam na mesma situação. As partes fixas podem ser divididas em três grandes partes [20, 21]:

- Cabeçote- se encontra no topo, cobrindo a parte superior do bloco, com a função de tampar os cilindros, formando a câmara de combustão na parte superior do bloco do motor. Nela se localizam as válvulas de admissão e escape ou descarga (dispositivos que permitem ou bloqueiam a entrada ou saída de gases ou combustível dos cilindros) e as velas de ignição ou os bicos injetores (dispositivos que inflamam o combustível e o ar presentes no cilindro). O cabeçote pode ser de ferro fundido ou ligas de alumínio, dependendo da necessidade de redução de peso ou melhoria na condução de calor.

Podem abrigar o eixo de cames ou comando de válvulas responsável pela abertura e fechamento das válvulas.



Figura 7 – Cabeçote – motor 4 cilindros [21].

- Bloco do motor- elemento principal do motor, que de maneira direta ou indireta são acoplados os componentes que constituíntes do motor, onde se encontram os cilindros (locais onde se movimentam os pistões) e onde estão os alojamentos dos mancais centrais, onde se apoia o eixo de manivelas ou virabrequim.

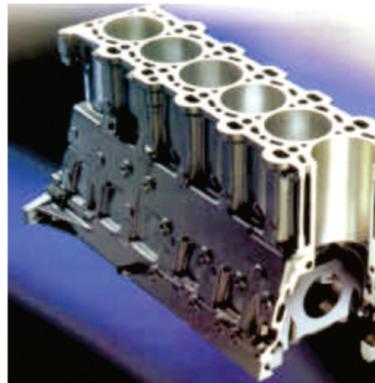


Figura 8 – Bloco do motor [21].

Composto por ferro fundido, alumínio fundido, alumínio forjado e aço forjado usualmente soldado, onde a especificidade está relacionada principalmente com as considerações do tipo de motor e dos custos de fabricação. Esse também pode ser denominado de bloco de cilindros. Motores mais modernos substituem ferro fundido por ligas visando principalmente melhores resultados quanto a dissipação de calor e redução do peso.

- Cárter- parte inferior do motor responsável por cobrir os componentes inferiores do motor e pelo armazenamento de óleo de lubrificação e do seu respectivo arrefecimento. Composto de ferro ou alumínio fundidos, constitui a parte principal do bloco do motor que contém o virabrequim e a bomba de óleo.

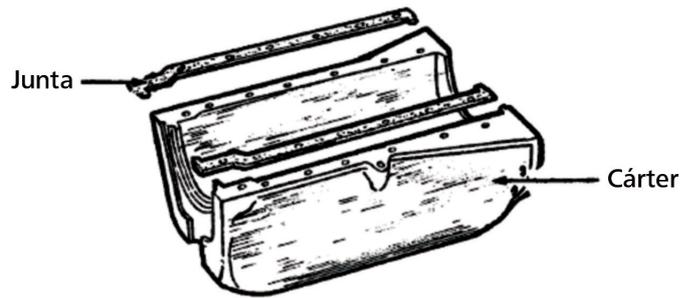


Figura 9 – Cárter e junta de vedação [21].

Visando uma vedação total, bloco e cabeçote são unidos com uma junta de amianto revestida de metal, enquanto que bloco e cárter requer uma junta com material que evite vazamentos por razão do aquecimento e dilatação dos metais. Todo projeto está suscetível a problemas, combinando problemas estruturais, fluxo de calor e escoamento de fluido em uma forma complexa, o cabeçote é um dos elementos mais propícios a problemas num motor. Tendo como objetivo aumentar a superfície de transferência de calor, os cilindros são separados e circundados por aletas nos motores refrigerados a ar.

As partes móveis principais são constituídas por [20, 21]:

- Válvulas- componentes responsáveis pela vedação da abertura de entrada do ar e pela vedação dos orifícios de saída dos gases da combustão, são compostos por metais. Podem apresentar-se em dois tipos: as válvulas de admissão, responsáveis pela abertura para permitir a entrada da mistura combustível/ar (ou ar puro, conforme o caso) no interior dos cilindros, enquanto que as válvulas de escape abrem-se para permitir a saída dos gases queimados na combustão. Podem ainda existir motores com válvulas laterais, localizadas ao lado dos cilindros (permitindo nesse caso um funcionamento silencioso), válvulas suspensas, colocadas sobre os cilindros (levando a um melhor funcionamento da câmara de combustão, favorecendo então a potência do motor e um rendimento térmico superior).
- Eixo do comando de válvulas ou eixo de cames- trata-se de um eixo acoplado a ressaltos ou excêntricos destinados a agir sobre os componentes impulsionadores das válvulas, balancins (invertem o sentido do movimento gerado pelo came), haste (regulam a entrada e saída de gases no cilindro) e tuchos (transmitem o movimento do came à vareta ou haste impulsora) em tempos precisos. A potência e regime do motor são influenciados grandemente pela forma e posição dos cames. Acionado pelo eixo de manivelas, através de engrenagens, corrente ou por correia dentada, esse eixo tem como objetivo a abertura das válvulas de admissão e escape. Constituído também de ressaltos que elevam o conjunto: tucho, haste e balancim, abrindo assim, as válvulas

no momento adequado. O eixo de cames e alguns componentes impulsionadores das válvulas são compostos por aço, liga de aço, aço ao níquel (podendo chegar a teores elevados) ou cromo-níquel, cromo e tungstênio. Esses materiais permitem que essas partes formadoras dos motores suportem temperaturas de trabalho que podem chegar a 750°C.

- Pistão- contém a parte móvel da câmara de combustão, transmite e amplia a energia resultante da expansão dos gases após a combustão. Compostos de fundição maleável, de liga de alumínio ou de aço, resultando em um material com mais leveza. Em geral, apresentam três canaletas para alojamento dos anéis. Essas são conectadas na parte do pistão onde há mais material e menor diâmetro. Dessa forma, no final da rota há uma amenização dos efeitos de inércia (vibração e frenagem em altos regimes de rotação).
- Anéis de segmento- acoplados nos pistões, esses componentes estão em contato com as camisas durante o seu funcionamento. Vedação da compressão e combustão, o controle do óleo lubrificante e a transferência do calor para o sistema de arrefecimento são algumas de suas funções principais. Ainda impossibilitam o vazamento dos gases e permitem a manutenção do fluxo de óleo na câmara de combustão com vazão mínima necessária para a adequada lubrificação dos anéis e do pistão. Podem, em sua maioria, serem compostos por ferro fundido-cinza, justamente devido a sua excelente resistência ao desgaste em todos os diâmetros de cilindro. Em destaque a uma variedade de anéis que controlam, de forma coadjuvante, o fluxo de óleo, os chamados anéis de compressão, existem aqueles em que essa é sua principal função, esses são os anéis de controle de óleo.
- Bielas- conectando os pistões e o eixo de manivelas, após receber dos pistões, esses componentes transmitem o impulso ao eixo de manivelas ou virabrequim. Em sua maioria são constituídas por aço-liga estampado, e com menor frequência por alumínio. Mas a utilização do material específico dependerão muito do gênero de motores, das cargas da biela e da velocidade de rotação.
- Bronzinas ou casquilhos- diminuindo o atrito entre o eixo e seu apoio, essas buchas bipartidas suportam cargas elevadas. Tendo uma composição trimetálica, de aço-cobre-estanho em sua grande maioria, as bronzinas possuem orifícios que facilitam a lubrificação e ressaltos que asseguram um posicionamento correto na montagem e impedem seu deslocamento lateral.
- Virabrequim- faz parte do sistema de força do motor, Eixo de Manivelas (EDM) ou Árvore de Manivelas (ADM). Instalado na parte inferior do bloco, recebe as bielas que possibilitam o movimento. Considerado o eixo motor propriamente dito, esse é

responsável por fornecer tensões devido à flexão, torção e cisalhamento em todo seu comprimento de acordo com as suas cargas aparentes.

- Volante- tem como função controlar a rotação do virabrequim, regularizando e equilibrando-a. Composto por fundição ou de aço moldado. O tamanho e peso dos volantes dependem do número de cilindros de um motor. Para motores com vários cilindros, os volantes são menores e mais leves, tornando-se maiores à medida que caem o número de cilindros.
- Mancais- reduzem o atrito e funcionam como apoio às partes móveis giratórias do motor, aos moentes e aos munhões. Podem ser fixos (instalados nos munhões e no bloco do motor) e móveis (presentes sobre os moentes e bielas). Ainda há os de deslizamento ou de rolamento (com roletes, esferas, agulhas). Mancal de duas meias-buchas apresenta duas partes, uma externa (capa) e outra interna (composta por metal, liga de estanho, de cobre e de antimônio, materiais que impedem/diminuem o atrito), essa estrutura de mancal tem como vantagem a facilidade de montagem.

Os motores de combustão interna podem ser classificados de acordo com fatores como: utilização (estacionários, industriais, veiculares ou marítimos. O que os diferenciam é o tipo de máquina a que eles são destinados a acionar), propriedade dos gases da admissão (ciclo diesel, com admissão de ar ou ciclo Otto, contando com a admissão da mistura ar-combustível), tipo de ignição (por centelha- ignição por centelha- ICE, ou por compressão, ignição por compressão- ICO), movimento do pistão (alternativos- ciclo Otto ou ciclo Diesel e rotativo- Wankel), fases dos ciclos de trabalho (dois ou quatro tempos), número de cilindros (monocilíndricos ou policilíndricos), disposição de cilindros (em linha, em V, opostos ou radiais) [20, 21].

Os motores ainda possuem condições específicas para que o processo de transformação da energia interna dos combustíveis em trabalho mecânico seja realizado de forma eficiente e contínua. Os sistemas responsáveis por promover essas condições são chamados de sistemas complementares. São eles: sistema de alimentação de ar, sistema de alimentação de combustível, sistema de arrefecimento, sistema de lubrificação e sistema elétrico [20, 21].

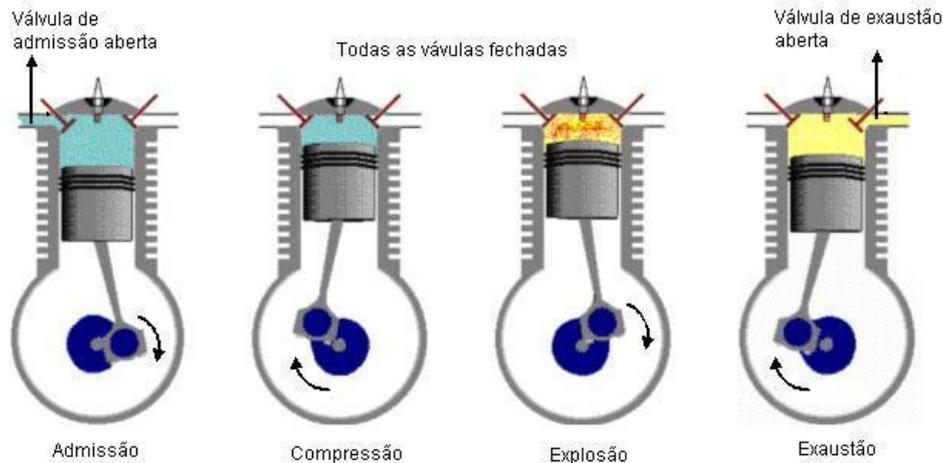


Figura 10 – Motor quatro tempos [23].

Esses motores utilizam-se de ciclos termodinâmicos para o seu funcionamento. Esses ciclos podem ser distinguidos em quatro fases de funcionamento ou quatro tempos [20, 21]: admissão, compressão, expansão/combustão e escape/exaustão, sendo todos eles caracterizados pelos tipos de substância de trabalho, fonte de calor, fonte fria e máquina térmica. Portanto, podem diferir em certo grau as características dos tempos de funcionamento dos motores à gasolina e à gasóleo, por exemplo.

- **Primeiro Tempo: Admissão-** contando com válvula de admissão aberta, nessa fase, o pistão realiza um movimento descendente, movimentando-se do ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI), permitindo assim uma depressão no interior do cilindro, possibilitando que a mistura/ar puro entre no cilindro.
- **Segundo Tempo: Compressão-** com as válvulas fechadas, nessa fase, o pistão realiza um movimento ascendente (do ponto morto inferior para o ponto morto superior), comprimindo a mistura/ar puro que foram admitidos durante o primeiro tempo. A compressão eleva as temperaturas e a turbulência da mistura/ar puro.
- **Terceiro Tempo: Expansão-Combustão-** quando pistão finaliza o movimento de compressão, uma faísca é gerada entre os elétrodos da vela. Obtém-se uma pressão muito elevada após a queima dos gases, levando ao movimento descendente do pistão até ao ponto morto inferior. Nesse tempo o motor fornece trabalho, e como essa é uma característica específica dessa fase essa é conhecida por tempo-motor.
- **Quarto Tempo: Escape/Exaustão-** com a válvula de escape aberta no fim do tempo-motor, permite-se a expulsão dos gases queimados para a mesma em grande velocidade. Com movimento ascendente, o pistão vai limpar o interior do cilindro. A partir do momento em que a válvula de escape é fechada, com o pistão no ponto morto superior, a válvula de admissão é aberta reiniciando o processo.

Diferenças de um motor a 4 tempos podem ser observadas quando esses são operados com gasolina ou diesel. A tabela 11 descreve algumas dessas diferenças.

GASOLINA		DIESEL	
		Injeção direta	Injeção indireta
Pressão de compressão	11-18 Bar	18-22 Bar	25-35 Bar
Pressão de combustão	40-60 Bar	± 100 Bar	60-80 Bar
Pressão de injeção	5-25 Bar	150-350 Bar	60-80 Bar
Relação de compressão	7:1 – 12:1	14:1 – 18:1	18.1 – 22.1
Temperatura (°C)	Combustão	2000 – 2500	
	Gases de escape	500 – 600	
	Gases de êmbolo	250 – 320	
	Gases de válvula	400 – 500	

Figura 11 – Comparação entre combustíveis [24].

Quanto aos ciclos termodinâmicos, os motores podem ser classificados em: ciclo Otto (motores a gasolina), ciclo Diesel (motores a gasóleo), ciclo Brayton (turbinas a gás) ou ciclo Atkinson (motor de cinco tempos). Destaca-se aqui, o princípio de funcionamento de um motor operando através dos dois primeiros ciclos.

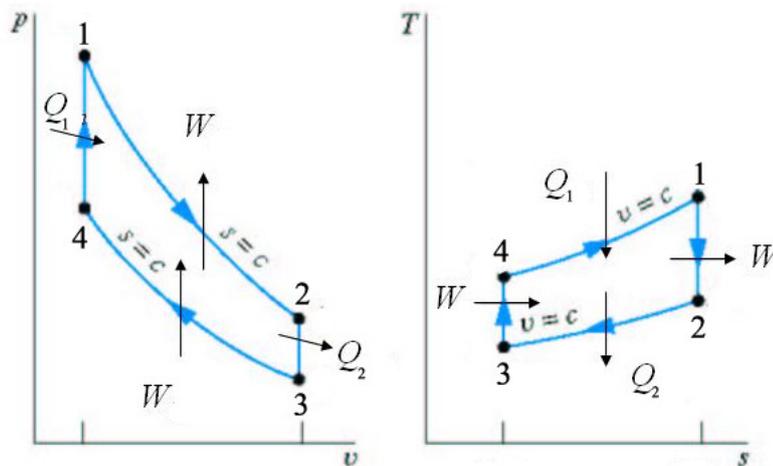


Figura 12 – Diagrama Ciclo Otto [25].

Motores que operam com ciclo Otto são aqueles de combustão interna, popularmente conhecidos como motores a explosão. O modelo ideal desse tipo de ciclo é constituído por quatro processos reversíveis internamente [20, 21]:

1. Admissão isobárica
2. Compressão adiabática
3. Expansão adiabática

4. Exaustão isobárica

No geral, automóveis que utilizam como combustível a gasolina, álcool ou gás natural operam com base no ciclo Otto [20, 21].

Motor que opera com ciclo Diesel destaca-se devido a causa da combustão, que nesse caso ocorre pela compressão da mistura ar + combustível. No primeiro ciclo, o ar entra na câmara. No segundo, ocorre a compressão do ar, pelo pistão e no fim da compressão, injeta-se combustível sob pressão no interior da câmara. Vindo, a mistura sofrer explosão no final do ciclo devido a elevação significativa da temperatura e da pressão no interior da câmara. No terceiro ciclo, o gás oriundo da explosão expande-se. Através das válvulas, o gás de resíduos da combustão é liberado. Assim feito, reinicia-se o processo.

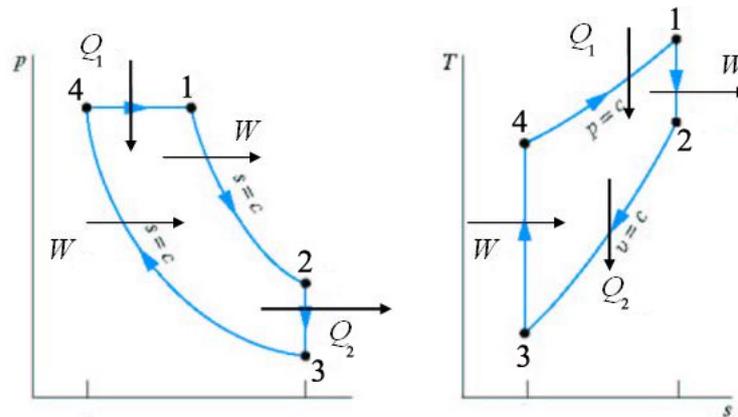


Figura 13 – Diagrama Ciclo Diesel [25].

De uma forma geral, o ciclo Diesel é caracterizado pelos seguintes processos [20, 21]:

1. Compressão adiabática
2. Transferência de calor endotérmica e isobárica
3. Expansão adiabática
4. Transferência de calor exotérmica e isocórica

3.3 Fontes De Energia

3.3.1 Petróleo e subprodutos

O petróleo bruto é uma complexa mistura líquida de compostos orgânicos e inorgânicos em que predominam os hidrocarbonetos, desde os alcanos mais simples até os aromáticos mais complexos.

3.3.1.1 Gasolina

A gasolina é um dos subprodutos do petróleo e é o combustível mais utilizado por automóveis no mundo. O intervalo de temperatura da sua obtenção por destilação é compreendido entre 33 à 105 °C. Sua queima gera grande quantidade de energia e ao mesmo tempo emite grande quantidade de poluentes

3.3.1.2 Gás natural

O gás natural pode ser do tipo associado ou não associado. O associado encontra-se dissolvido no petróleo, fazendo com que a produção do óleo seja privilegiada. O gás não associado é o gás preso entre as rochas livre de água e de óleo, sendo ele a substância primária para o gás natural veicular.

3.3.1.3 Diesel

O diesel é um óleo oriundo da destilação de petróleo bruto e é usado em motores específicos, exclusivos para o diesel e o biodiesel. É uma grande alternativa quando a questão é preço e consumo do combustível.

3.3.2 Biocombustíveis

Combustíveis de origem biológicas derivados de biomassa renovável. São representantes principais na alimentação de veículos de combustão interna são o etanol e o biodiesel.

3.3.2.1 Etanol

Segundo combustível mais utilizado no Brasil. Teve grande estímulo estatal na sua produção que ocorre associada com a produção de açúcar.

3.3.2.2 Biodiesel

Semelhante ao diesel retirado do petróleo, porém sua extração ocorre em vegetais. Óleos vegetais são extraídos e processados para obter esse produto.

3.4 Eficiência Energética

Eficiência ou rendimento de um motor representa o grau de sucesso com que um processo de conversão de energia é realizado ^[26]. De um modo geral a expressão da eficiência pode ser apresentada através da relação entre os termos de um resultado desejado e de

um fornecimento necessário, como representado pela equação [27]:

$$\eta = \frac{\text{resultado desejado}}{\text{fornecimento necessário}} \quad (3.1)$$

Aqui, η descreve a eficiência, resultado desejado pode ser entendido como a potência de saída do motor e fornecimento necessário é o recurso que foi disponibilizado para a realização do objetivo proposto (para motores de com interna, esse é a própria energia do combustível).

Segundo Heywood (1988), a eficiência térmica de motores de combustão interna, também chamada de eficiência de conversão do combustível, pode ser definida por:

$$\eta_t = \frac{W}{m \cdot p_c} \quad (3.2)$$

Com η_t representando a eficiência térmica, m sendo a vazão mássica de combustível, p_c , o poder calorífico do combustível e W , a potência de saída do motor obtida em dinamômetro.

As eficiências globais típicas de um motor de combustão interna foram propostas por Çengel e Boles [27] como sendo da ordem de 26% a 30% para motores automotivos a gasolina, de 34% a 40% para motores a Diesel, e de 40% a 60% para motores de grandes usinas geradoras de energia elétrica.

A eficiência de um motor de combustão interna não é uma preocupação recente, estando presente nos primeiros projetos e protótipos desses tipos de motores [26]. Garantir uma alta eficiência vai de encontro com fatores econômicos, tecnológicos e aqueles relacionados com a sustentabilidade do meio ambiente. Dessa maneira, cada vez mais rigorosas se tornam as leis para a comercialização de veículos. Dessa forma, veículos mais econômicos e menos poluentes conduzem o desenvolvimento de motores cada vez menores e mais eficientes [26].

Muitas são os aperfeiçoamentos dos motores na tentativa de aumentar desempenho e eficiência de motores. Dentre eles, pode-se citar [26]: sistemas de otimização do rendimento através da variação no sincronismo de válvulas, sistemas de admissão com sobre-alimentação e com geometria variável, aliados a sistemas eletrônicos de gerenciamento e controle, que otimizam a combustão em diversos regimes de trabalho do motor, diminuição dos atritos do sistema, melhor aproveitamento do combustível (sendo esse associado ao melhor desempenho e menor consumo).

Contudo, Martins [28] disserta que o rendimento do motor pode ser visto como um produto de vários outros rendimentos, que mostram o resultado específico a cada parâmetro, tais como as perdas por atritos, a eficiência do enchimento dos cilindros por ar, a eficiência da combustão, etc. Alguns desses parâmetros influenciam nos resultados de eficiências de um motor de combustão interna, sendo eles [26]:

- Eficiência Mecânica do Motor

- Eficiência Térmica e o Consumo Específico de Combustível
- Eficiência Volumétrica
- Pressão Média Efetiva

Portanto, a determinação de parâmetros como esses afetará significativamente a eficiência do motor de combustão interna. A escolha mais viável pode depender de alguns fatores como, o objetivo da utilização do motor, como proporcionar a maior potência ao motor, requerer a maior autonomia do veículo, relação custo benefício, alto desempenho e economia de combustível. É estritamente necessário escolhas que levem a melhorias de eficiências, porém deve haver uma relação de equilíbrio entre essa e as contribuições ao meio ambiente e à sustentabilidade ^[26].

4 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Desenvolvimento sustentável é a busca do progresso sem prejudicar ou prejudicando ao mínimo o meio ambiente. No mundo capitalista e consumista em que vivemos, pensar de forma sustentável é quase que um crime para os detentores do capital e do poder. A visão de maximizar os lucros a todo custo cega o ser humano e faz com que ele destrua o planeta que vive. As consequências a longo prazo podem comprometer a própria existência da raça e também de outros seres vivos. Falar em desenvolvimento sustentável é falar em futuro, um futuro com o máximo de harmonia possível entre os seres vivos da Terra.

Os veículos elétricos são uma alternativa para o futuro, já esses não emitem gases tóxicos na atmosfera. O gás carbônico e o monóxido de carbono emitidos pelos carros a combustão são uns dos principais responsáveis pela qualidade do ar atmosférico. Quanto maior a concentração desses gases no ar, menor a qualidade da respiração dos seres vivos aeróbios (que necessitam de oxigênio na respiração) e maior é a alteração climática que ela pode causar.

4.1 Uma Comparação De Custos E Eficiência Entre O Carro Elétrico E O Carro A Combustão

Para um comparativo mais fidedigno a realidade, foi utilizado um estudo feito por Santos [29] onde dois modelos de carro Renault com características estruturais semelhantes foram confrontados, um modelo elétrico (Zoe) e um modelo a combustão (Sandero). Segue as despesas com manutenção de cada tipo de veículo (ver figura 14).

	Energia	Manutenção	Aluguel bateria
Sandero	RS4.076,16	RS939,96	-
Zoe	RS1.376,52	RS610,92	RS367,29
Economia/ano	RS2.699,64	RS329,04	-RS367,29
Economia total/ano	RS2.661,39		

Figura 14 – Despesas de manutenção do carro elétrico e do carro a combustão [29].

Os custos energéticos e de manutenção do modelo elétrico são menores. Em relação aos valores de compra e o custo do km rodado de cada veículo, temos a seguinte tabela

(ver figura 15) que contém também outras características e mostra a semelhança dos dois modelos.

	Veículo Elétrico Renault Zoe	Veículo a Combustão Renault Sandero ⁹
Segmento	Compacto	Compacto
Capacidade	5 pessoas	5 pessoas
Valor	RS87.927,00	RS43.350,00
Motorização	Motor elétrico a bateria	Motor de combustão interna 4 tempos, 1.0, 3 cilindros, 12V
Combustível	-	Gasolina ou etanol
Potência	57 kW (77 cv)	58 kW (79 cv)
Torque máximo	210 Nm	100 Nm
Aceleração de 0 a 100 km/h	15,5 s	13,1 s
Velocidade máxima	135 km/h	160 km/h
Consumo	133 Wh/km	14,2 km/l
Autonomia	300 km ¹⁰	710 km
Valor do km rodado (somente energia)	RS0,09	RS0,27

Figura 15 – Comparativo 1 entre veículos, um modelo elétrico e um modelo a combustão [29].

	Veículo Elétrico Renault Zoe	Veículo a Combustão Renault Sandero ⁹
Valor do km rodado (energia + manutenção – sem o aluguel da bateria)	RS0,13	RS0,33
Emissões de CO₂	0	93 g/km
Peso total	1480 kg	1011 kg
Comprimento	4084 mm	4060 mm
Entre eixos	2588 mm	2590 mm
Largura	1730 mm	1733 mm
Altura	1562 mm	1536 mm
Volume do porta malas	338 l	320 l

Figura 16 – Comparativo 2 entre veículos, um modelo elétrico e um modelo a combustão [29].

Observando a tabela (ver figura 16) vemos que a viabilidade econômica do carro

elétrico é maior a longo prazo, apesar de seu valor de compra ser maior. O custo por km rodado é bem menor para o modelo elétrico, perdendo por um valor considerável somente no quesito autonomia. O que nos faz pensar que se houvesse um investimento maior em infraestrutura para esses modelos, esse problema com certeza seria minimizado.

Esse caso é um caso bem específico, mas que de certa forma é um forte indicador de que algo melhor e mais promissor pode substituir o que hoje é um grande problema para nosso meio ambiente.

4.2 A Eletricidade Como Alternativa Limpa E Econômica

Sabemos que o veículo elétrico não emite poluentes através de gases expelidos, já que não ocorre nenhuma combustão no processo de transformação de energia elétrica em mecânica no motor elétrico. Ao contrário dos veículos a combustão interna que necessitam de queima do combustível para geração de movimento no motor e que liberam grande quantidade de gás carbônico (CO_2) e monóxido de carbono (CO). Mas os veículos elétricos são isentos de qualquer dano ambiental? A resposta é não por dois principais motivos. Um deles é uso de baterias para armazenamento de energia. O descarte incorreto e a poluição por metais pesados são problemas bastante indesejáveis quando se fala em desenvolvimento sustentável. O outro são as fontes energéticas que alimentam as baterias. Não adianta a bateria seguir todos os padrões ambientais e a energia que a alimenta ser, por exemplo, provida de queima irregular de carvão. Ou mesmo de uma hidrelétrica que não respeita áreas de conservação ambiental. Por isso, não podemos enxergar somente de forma pontual, temos que analisar tudo que está por trás.

Sobre as fontes de energia “limpas”, demos destaque a energia eólica e energia solar, já que essas além de gerarem baixos danos ambientais diretos, como emissão de gases poluentes ou destruição de grandes áreas verdes e da fauna, geram também pouco danos indiretos, como é o caso da energia nuclear. A energia nuclear apresenta altos riscos de contaminação, porém só acontece se houver acidentes ou se o lixo atômico não tiver um tratamento e destino corretos.

4.2.1 Energia eólica

Para gerar eletricidade, o aerogerador (ou turbina eólica) funciona de maneira similar a um moinho de vento, em que a energia das massas de ar é convertida em energia mecânica, auxiliando agricultores com a moagem de grãos e bombeamento de água. Na turbina eólica, o vento movimentando as pás e faz girar o rotor, que transmite a rotação ao gerador, que, por sua vez, converte essa energia mecânica em energia elétrica. Já existem inclusive geradores residenciais capazes de gerar uma potência de 1000 Watts.

O Brasil é o principal desenvolvedor de parques eólicos na América Latina. O progresso da energia eólica no Brasil pode ser explicado pelo progresso tecnológico alcançado por essa indústria (geração de muita renda), as características do vento brasileiro, bem como as atrativas condições dos leilões do mercado regulado e as condições de financiamento [30].

“A energia eólica é uma fonte limpa e renovável, que gera empregos e renda para o Brasil. Em 2012 foram gerados 15 mil empregos diretos e temos, hoje, 11 fabricantes instalados no país. No último ano foram investidos no setor cerca de R\$ 7 bilhões, e a previsão é chegar a R\$ 50 bilhões até 2020 [30].”

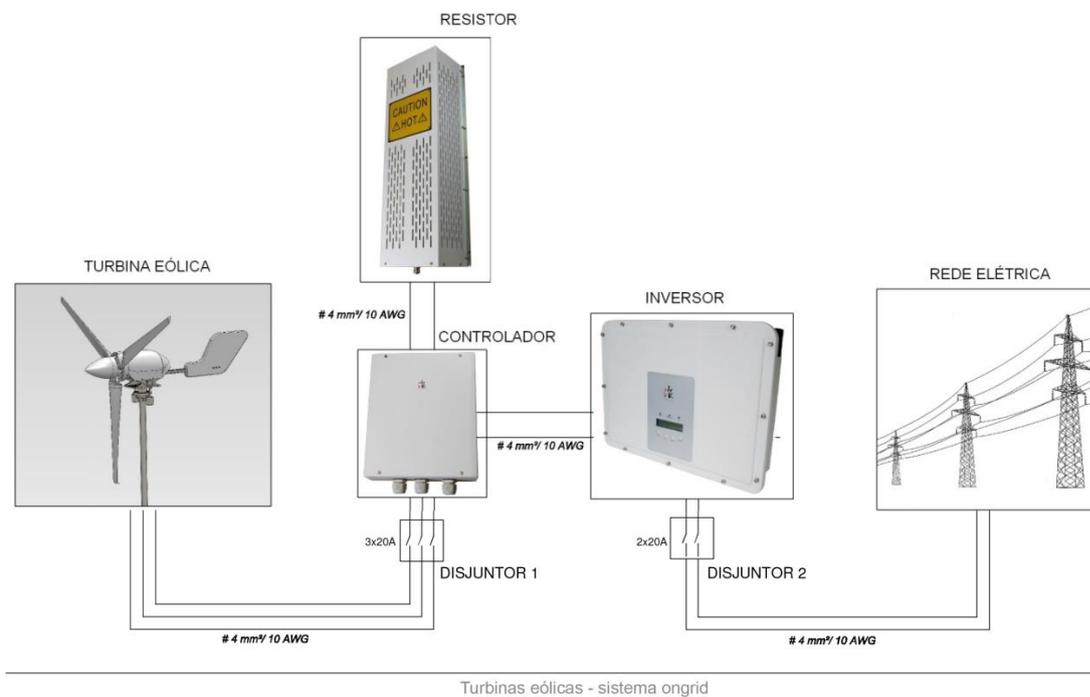


Figura 17 – Esquema de produção de energia eólica [31].

4.2.2 Energia solar

Na produção de energia elétrica através da energia solar, o sistema fotovoltaico é o mais utilizado. A placa fotovoltaica é composta de células feitas de materiais semicondutores. Quando as partículas da luz solar colidem com os átomos desses materiais, provocam o deslocamento dos elétrons, gerando corrente elétrica. Segundo Nascimento [32] Edmond Becquerel relatou o fenômeno em 1839, quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, devido à incidência de luz. Geradores elétricos como esses são cada vez mais usados em aparelhos eletrônicos e em satélites onde a absorção é bem maior.

O Brasil, por ser um país tropical, possui boa incidência solar o ano inteiro, como pode ser visto na figura a seguir.

Percebe-se o grande potencial do país para produção desse tipo de energia, porém é necessário um grande investimento inicial. O Brasil já possui grandes parques solares. O parque de Pirapora em Minas Gerais ocupa uma área equivalente a 1500 campos de futebol. Existem ainda grandes parques na Bahia e no Piauí, porém ainda existe uma grande lacuna para expansão.

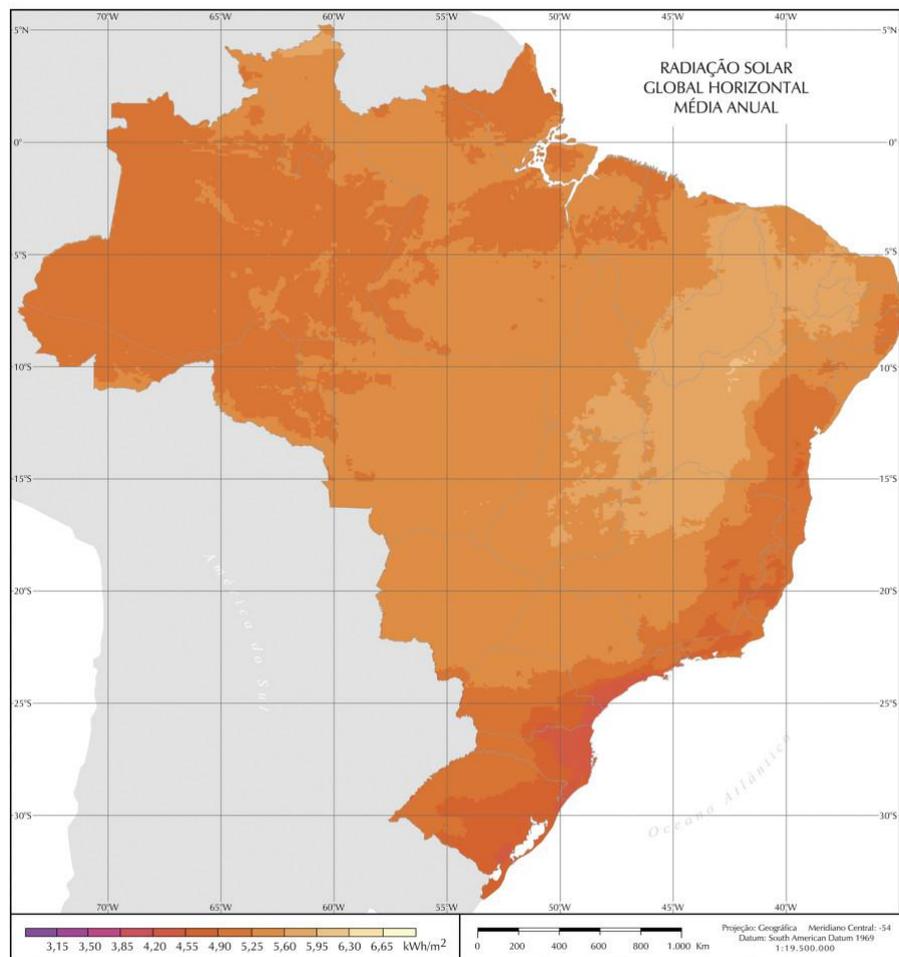


Figura 18 – Índice de radiação solar anual no Brasil [33].

4.3 Motor De combustão Interna *versus* Motor Elétrico: Impacto Ambiental

Como relatam Rizzo e Pires [7] os automóveis são uma das grandes causas do desequilíbrio ambiental, pois além de ser uma das principais fontes de poluição atmosférica, consomem grande quantidade de energia.

O carro a combustão gera gases tóxicos na atmosfera que o carro elétrico não gera. Porém, os carros elétricos são alimentados por baterias, essas que podem conter metais pesados em sua composição e contaminar o solo e a água. É preciso, portanto, tentar amenizar ou até anular esses efeitos nos modelos seguindo os devidos cuidados e recomendações.

No Brasil o aumento no número de automóveis irá certamente demandar uma quantidade crescente de energia nos próximos anos, o que torna o uso da eletricidade no setor de transportes uma interessante alternativa aos combustíveis utilizados atualmente sob o ponto de vista ambiental. Isto reforça o uso de energia elétrica, que no Brasil é gerada quase que totalmente a partir de fontes renováveis [em torno de 85%, de acordo com Ministério de Minas e Energia (2009)], e reduz o uso do motor de combustão, uma relevante fonte emissora de gases de efeito estufa. Além do mais, contribui para aumentar a eficiência energética, já que o motor elétrico tem eficiência da ordem de 90%, contra 40% do motor de combustão [3].

4.4 Políticas E Mercado, Produção E Pessoas

Não é novidade para ninguém que as grandes empresas de petróleo e seus subprodutos pressionam contrariamente a criação de automóveis movidos a qualquer tipo de energia que não seja comercializada por eles. Principalmente quando a energia em questão parece ser mais viável ao bolso e ao planeta. Há relatos de escândalos envolvendo financiamento político por grandes companhias para objeção de criação de novas tecnologias. O carro elétrico é com certeza uma das vítimas desse jogo. O sistema capitalista e consumista visa o lucro máximo e parece não se preocupar em exaurir todos os nossos recursos energéticos não renováveis. Esses que poderiam ser utilizados de maneira consciente e servir com mais eficiência o futuro da nossa espécie.

As reservas de petróleo do Brasil representam sem dúvida uma grande riqueza para a nação. Grandes reservas localizadas em grandes profundidades, embaixo de espessas camadas de sal, permitiram o Brasil estar entre os maiores produtores de petróleo do mundo. O ProÁlcool foi um programa bem-sucedido de substituição em larga escala dos derivados de petróleo. O álcool se tornou o segundo combustível mais utilizado no Brasil. Além de ser uma alternativa ao petróleo, evitando assim importações, é um recurso renovável e funciona concomitantemente com a produção de açúcar [34]. Porém, diante desses dois grandes recursos, os carros elétricos parecem ter sido esquecidos. A eletricidade gerada no país daria sim para abastecer uma grande frota de automóveis elétricos, mas o Estado não mostra grande interesse nesse tipo de tecnologia.

O imediatismo, a insegurança e a falta de visão progressista cega a raça humana que é tão gananciosa. O baixo estímulo faz com que a infraestrutura seja limitada e torne

os veículos elétricos inviáveis devida a baixa autonomia. Mas existe também o movimento de resistência. O futuro sustentável ainda é prioridade para alguns. O Japão é grande exemplo nesse quesito. Grande parte da produção mundial de carros elétricos ocorre lá.

O mercado de carros elétricos se mostra muito promissor. O desafio tecnológico que ele representa poderia gerar uma quantidade absurda de empregos, capital e inovações. Descobertas não só no campo dos automóveis, mas em tudo que está relacionado com eles, como baterias, motores, entre outros. A energia poupada e bem aproveitada evitaria o desperdício de recursos e de capital. O Brasil possui grande espaço territorial e uma quantidade vasta de recursos para gerar energia “limpa”. Sua malha rodoviária gigantesca, apesar de dificultar a implementação da infraestrutura necessária para atender esses veículos, favorece o uso desse tipo de locomoção e estimularia a vendas desses automóveis. A redução dos impostos, o incentivo tecnológico e as políticas de estímulo desse mercado poderiam gerar muito capital para a nação e torná-la um exemplo de progresso a ser seguido. Quando nossa mentalidade mudar e passarmos a nos preocupar com nosso planeta e com as pessoas que nele vivem, algo poderá ser feito.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

5.1 Considerações Finais

A análise bibliográfica permitiu inferir as possíveis causas da dificuldade de crescimento da frota de veículos elétricos que antes pareciam não serem tão claras e verificar as possíveis alternativas energéticas para garantir um futuro sustentável e humano. O Brasil não se mostra tão interessado nesse tipo de tecnologia, mas possui um grande potencial em relação as suas fontes energéticas. O patamar do petróleo ainda é uma barreira para fontes alternativas e o imediatismo ainda tem grande influência no consumo humano.

Como observado nas tabelas comparativas de Santos [29], o carro elétrico não é um vilão dos custos e não tem somente um apelo ambiental. Seus custos se mostram a longo prazo menores do que os veículos a combustão convencionais. Apesar dos altos impostos incidentes sobre sua importação, se houver intervenção estatal no intuito de estimular esse mercado, podemos ter resultados promissores tanto para o meio ambiente quanto para nossa economia.

5.2 Sugestões De Trabalhos Futuros

Um estudo mais aprofundado sobre as grandes taxas de impostos incidentes sobre o carro elétrico faz-se necessário. Uma grande parcela da população não tem a mínima condição de adquirir um veículo com essas características, não só pela sua baixa autonomia e falta de infraestrutura, mas principalmente pelo seu preço de compra. É possível investigar como os governos municipais, estaduais e federal estimulam esse tipo de tecnologia e como isso pode influenciar o desinteresse nesse tipo de produto.

Sugere-se também um estudo sobre a infraestrutura necessária para atender esse tipo de mercado, dado que para ocorrer essa transição de automóveis a combustão para automóveis elétricos são necessárias mudanças e implementações nas rodovias de forma a atender o abastecimento e a manutenção desse tipo de veículo. Empresas como a Tesla, por exemplo, já buscam alternativas de substituição rápida da bateria dos carros elétricos. Ou seja, poderemos chegar em um posto e instantaneamente substituímos a bateria descarregada do carro por uma bateria com carga total, evitando assim a demora gerada no seu carregamento.

Referências

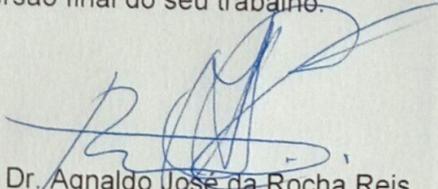
- 1 HØYER, K. G. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, v. 16, n. 2, p. 63–71, June 2008. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/eee/juipol/v16y2008i2p63-71.html>>. Citado na página 13.
- 2 DOE, E. *Annual Energy Review*. 2009. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html>>. Citado na página 13.
- 3 BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil. *BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.*, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2011. Citado 6 vezes nas páginas 13, 16, 17, 20, 21 e 44.
- 4 SOUZA., M. M. de L. C. *VEÍCULOS ELÉTRICOS: a rede de inovação da pesquisa e desenvolvimento no Brasil*. 2015. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 16.
- 5 KRÜGER, E. L. Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental. *Desenvolvimento e Meio ambiente*, v. 4, 2001. Citado na página 15.
- 6 UMA breve história dos veículos elétricos. 2018. Disponível em: <<http://climainfo.org.br/2017/09/25/uma-breve-historia-dos-veiculos-eletricos/>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 15.
- 7 RIZZO, L. G. P.; PIRES, M. C. A questão energética: da exaustão do modelo fóssil ao desafio da sustentabilidade. *volume 3/número 6/janeiro 2005 ISSN 1677-4973*, p. 87, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 43.
- 8 GUENTHER, P. R.; PADILHA, T. D. Estudo de viabilidade para substituição de veículos a combustão por veículos de tração elétrica em uma linha de ônibus de curitiba. Citado na página 16.
- 9 VEÍCULOS Gurgel. 2018. Disponível em: <<http://www.gurgel800.com.br/>>. Citado 3 vezes nas páginas 9, 16 e 17.
- 10 VEÍCULOS Toyota. 2018. Disponível em: <<https://www.toyota.com.br/>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 17.
- 11 HASHEMNIA, N.; ASAEI, B. Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. In: IEEE. *Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference on*. [S.l.], 2008. p. 1–5. Citado na página 18.
- 12 ENGELMANN, E. b. W. H. M. R. H. *Handbook of Electric Motors*. [S.l.: s.n.], 1995. Citado na página 18.
- 13 MOTORES elétricos. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 18.

- 14 CAMARGO, R. *PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2010. Citado na página 19.
- 15 FREITAS, J. C. N. d. *Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos*. Tese (Doutorado), 2012. Citado 4 vezes nas páginas 9, 19, 20 e 22.
- 16 CHAPMAN, S. *Electric machinery fundamentals*. [S.l.]: Tata McGraw-Hill Education, 2005. Citado na página 19.
- 17 LARMINIE, J.; LOWRY, J. *Electric vehicle technology explained*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012. Citado na página 19.
- 18 AMBROSIO, R. C.; TICIANELLI, E. A. Baterias de níquel-hidreto metálico, uma alternativa para as baterias de níquel-cádmio. *Quim. Nova*, SciELO Brasil, v. 24, n. 2, p. 243–246, 2001. Citado na página 20.
- 19 BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. *Química Nova na escola*, n, v. 11, n. 3, 2000. Citado na página 21.
- 20 LIMA, F. L. M. et al. Motores de combustão interna. *Porto, PO*, 2009. Citado 7 vezes nas páginas 25, 28, 30, 32, 33, 34 e 35.
- 21 TILLMANN, C. d. C. Motores de combustão interna e seus sistemas. *Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia*. Citado 9 vezes nas páginas 9, 25, 28, 29, 30, 32, 33, 34 e 35.
- 22 VARELLA, C. A. A. Histórico e desenvolvimento dos motores de combustão interna. *Apostila didática da disciplina IT*, v. 154, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 28.
- 23 COMBUSTÃO, poluição e automóveis! 2018. Disponível em: <<http://parquedaciencia.blogspot.com/2013/08/combustao-poluicao-e-automoveis.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 33.
- 24 AUTOMÓVEL, C. de Formação Profissional de Reparação. *Formação Modular Automóvel: Características e Funcionamento dos Motores*. 2018. Disponível em: <<https://www.cepra.pt/portal/>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 34.
- 25 CICLOS Otto y Diesel. Análisis termodinámico. 2018. Disponível em: <<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/04/09/ciclos-otto-y-diesel-analisis-termodinamico/>>. Citado 3 vezes nas páginas 9, 34 e 35.
- 26 CARVALHO, M. A. S. d. *Avaliação de um motor de combustão interna ciclo otto utilizando diferentes tipos de combustíveis*. Dissertação (Mestrado), 2016. Citado 3 vezes nas páginas 36, 37 e 38.
- 27 ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A.; BUESA, I. A. *termodinâmica*. [S.l.]: McGraw-Hill São Paulo, 2006. v. 10. Citado na página 37.
- 28 MARTINS, J. *Motores de combustão interna*. [S.l.]: Publindústria, 2006. Citado na página 37.
- 29 SANTOS, A. C. F. d. R. Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão. Universidade Federal de Santa Maria, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 9, 39, 40 e 47.

- 30 MELO, E. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. *estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 27, n. 77, p. 125–142, 2013. Citado na página 42.
- 31 TURBINA Eólica IN-VENTO Agrícola. 2018. Disponível em: <<https://zminvento.wordpress.com/2014/06/13/turbina-eolica-in-vento-agricola/>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 42.
- 32 NASCIMENTO, C. A. do. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. *Diss. Universidade Federal de Lavras*, 2004. Citado na página 42.
- 33 ATLAS brasileiro de energia solar. 2018. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 43.
- 34 NITSCH, M. O programa de biocombustíveis proálcool no contexto da estratégia energética brasileira. *Revista de economia política*, v. 11, n. 2, p. 42, 1991. Citado na página 44.

CERTIFICADO

Certifico que o aluno **MARCELO HENRIQUE AZEVEDO**, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado "**CARROS ELÉTRICOS: VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DE INSERÇÃO COMPETITIVA NO MERCADO BRASILEIRO**" efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do seu trabalho.



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis

Ouro Preto, 20 de dezembro de 2018