

MARIO LUIZ PRIETO MARTIN

Viabilidade da popularização de veículos híbridos no mercado brasileiro

SÃO PAULO
2016

MARIO LUIZ PRIETO MARTIN

Viabilidade da popularização de veículos híbridos no mercado brasileiro

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Marcos de Mattos Pimenta

SÃO PAULO
2016

Catálogo-na-publicação

Martin, Mario Luiz Prieto

Viabilidade da popularização de veículos híbridos no mercado brasileiro /
M. L. P. Martin -- São Paulo, 2016.
53 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída
e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Veículos automotores 2.Veículos especiais 3.Gases 4.Poluição
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de
Educação Continuada em Engenharia II.t.

RESUMO

Esta monografia tem por objetivo avaliar a viabilidade da popularização dos veículos híbridos no mercado brasileiro. O conteúdo é desenvolvido a partir da análise do contexto brasileiro, com dados do setor de transportes e políticas de incentivo atuais. São consideradas também as condições político-econômicas atuais do Brasil, identificando oportunidades e barreiras para popularização desses veículos. Dados de outros países que já desenvolveram políticas específicas para a introdução desse tipo de veículo em seus mercados são utilizados de maneira comparativa. Conclui-se assim que o Brasil apresenta um grande potencial para popularização desses veículos, dependendo, porém do país atingir estabilidade política e econômica.

Palavras chave: Veículos híbridos. Poluição. Viabilidade. Eficiência.

ABSTRACT

This monograph aims to evaluate the feasibility of popularization of hybrid vehicles in Brazilian market. The study is developed analyzing Brazilian situation, considering transport industry data and current incentive policies. Current political-economic conditions are also evaluated, identifying opportunities and barriers for those vehicles' popularization. Data from other countries that already develop specific policies for the introduction of those vehicles' on their markets are compared to Brazil's current situation. It is concluded that Brazilian market has a great potential for hybrid vehicle's popularization, however both political and economic stability must be reached in advance.

Keywords: Hybrid vehicles. Pollution. Feasibility. Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Frota circulante nos EUA no início do século XX por tipo de propulsão.....	13
Figura 2.2 – Ford Modelo T, primeiro carro produzido em série.....	14
Figura 2.3 – Gráfico comparativo do preço do barril de petróleo cru desde 1970.....	15
Figura 2.4 – CitiCar, ComutaCar e Postal ComutaVan.....	16
Figura 2.5 – Mercados globais líderes em vendas de veículos elétricos <i>plug-in</i>	17
Figura 2.6 – Gurgel Itaipu.....	18
Figura 2.7 – Itaipu E-400	18
Figura 2.8 – Mixte, veículo híbrido de Lohner Porsche.....	29
Figura 2.9 – Krieger Hybrid.....	20
Figura 2.10 – Diagrama do veículo híbrido paralelo	23
Figura 2.11 – Diagrama do veículo híbrido série	23
Figura 2.12 – Diagrama do veículo híbrido série-paralelo	24
Figura 3.1 – Consumo final energético por setor no Brasil	26
Figura 3.2 – Matriz do transporte de cargas no Brasil	27
Figura 3.3 – Brasil – total de licenciamentos por combustível: série histórica 1957-2013.	29
Figura 4.1 – Os dez países que mais emitem gases de efeito estufa globalmente	38
Figura 4.2 – Tipo de poluição por atividade – Brasil.....	39
Figura 7.1 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper	54
Figura 7.2 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper	55
Figura 7.3 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper	56
Figura 7.4 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper	57
Figura 7.5 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Frota estimada de ônibus elétricos e híbridos no Brasil.....	25
Tabela 3.2 – Tabela comparativa das vantagens e desvantagens da utilização de etanol como combustível	28
Tabela 4.1 – Tipos de poluição classificadas de acordo com suas causas	36
Tabela 4.2 – Características e inovações nas cinco primeiras fases do PROCONVE.....	40
Tabela 4.3 – Principais políticas de estímulo à demanda de veículos híbridos e elétricos	43
Tabela 4.4 – Comparação entre os tipos de baterias	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Downsizing	Conceito de utilizar motorizações de menor capacidade volumétrica e muitas vezes menor quantidade de cilindros do motor, mais modernos e eficientes e geralmente turbo-alimentados.
Inovar auto	Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores
ME	Motor elétrico
MCI	Motor de combustão interna
OMC	Organização Mundial de Comércio
PROMOT	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
PROCONVE	Programa Nacional de Controle da Poluição por Veículos Automotores
Regenerative braking	Sistema que recupera a energia cinética das frenagens, utilizando a energia gerada para recarga das baterias.
Smart grid	Sistemas de distribuição e de transmissão de energia elétrica que foram dotados de recursos de Tecnologia da Informação (TI) e de elevado grau de automação, de forma a ampliar substancialmente a sua eficiência operacional.
VEH	Veículo elétrico híbrido
Vehicle to grid	Utilização da energia armazenada nos veículos para oferecer suporte à rede.
WRI	World Resources Institute

SUMÁRIO

1. Introdução	10
1.1. Objetivos	11
2. Histórico dos veículos elétricos e híbridos.....	12
2.1. Histórico do veículo elétrico – EUA, início do século XX.....	12
2.2. Histórico dos veículos elétricos no Brasil.....	17
2.3. Histórico dos veículos híbridos	19
2.4. Identificação das tecnologias de veículos híbridos atuais.....	21
2.4.1. Definição e características	21
2.4.2. Sistemas híbridos em paralelo	22
2.4.3. Sistemas híbridos em série.....	23
2.4.4. Sistemas híbridos série-paralelo ou mistos.....	24
2.4.5. Sistemas híbridos Full-Hybrid.....	24
3. Análise do contexto brasileiro.....	25
3.1. Mercado brasileiro – distribuição dos veículos elétricos e híbridos no Brasil	25
3.2. Setor de transportes.....	26
3.3. Veículo a álcool e <i>flex fuel</i>	27
3.4. Veículos híbridos e elétricos – balanço energético	29
3.5. Veículos híbridos – vantagens e desvantagens.....	31
4. Oportunidades e barreiras.....	35
4.1. Oportunidades.....	35
4.1.1. Poluição atmosférica.....	35
4.1.2. Tipos de poluição e suas fontes.....	35
4.1.3. Principais poluentes e seus impactos na saúde humana	36
4.1.4. O Brasil entre os países mais poluentes do mundo	38
4.1.5. Programas de controle de emissões veiculares – PROCONVE.....	39
4.2. Barreiras.....	42
4.2.1. Impostos	42
4.2.2. Cenário político instável	46
4.2.3. Ciclo de vida das baterias	46
5. Conclusões.....	48
6. Bibliografia.....	50
7. Anexos	54
7.1 Imagens de patente do veículo híbrido Henri-Pieper	54

1. Introdução

Os veículos híbridos têm tido maior importância e participação no mercado mundial com o passar dos anos, impulsionados por leis de emissões de poluentes cada vez mais restritivas – no Brasil, PROCONVE e PROMOT para veículos automotores e motocicletas, respectivamente. Esses veículos podem ser entendidos como a ponte de ligação entre os veículos equipados com motores de combustão interna, ciclos Otto e Diesel, e os veículos puramente elétricos, com emissão zero de poluentes. Tal ligação se faz necessária por conta da evolução tecnológica necessária nas baterias, que no patamar atual não oferecem uma capacidade de carga suficiente para que a autonomia dos veículos seja adequada para as aplicações mais comuns – uso urbano e rodoviário.

A tecnologia de veículo elétrico híbrido (VEH) consiste na utilização de um motor de combustão interna (MCI), um motor elétrico (ME) e um banco de baterias, visando diminuir a quantidade de combustível utilizado para movimentar o veículo, além de diminuir a emissão de gases poluentes, inclusive os gases responsáveis pelo efeito estufa. Essa tecnologia também utiliza freios regenerativos, que recarregam as baterias quando são utilizados, aumentando assim a autonomia do veículo (COELHO et al., 2009).

De acordo com a publicação especializada Focus 2 Move, o mercado automotivo brasileiro é o décimo maior mercado do mundo em volume de vendas, atrás de China, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Índia, Reino Unido, França, Itália e Canadá. Se por um lado o tamanho atual da população brasileira faz com que o mercado nacional tenha um grande potencial de expansão e consumo (Belini, 2014), por outro lado os veículos de maior volume de vendas no país ainda são de projetos defasados, motores de concepção antiga, necessitando de melhorias e tecnologias atuais (Couto, 2012), que em contrapartida oneram o consumidor por seu maior custo. Dessa forma, a

popularização de veículos híbridos no país representa um desafio por si só, necessitando ainda ser adequada às necessidades específicas do país, tais como aplicações específicas por região e qualidade de combustível.

1.1. Objetivos

O objetivo principal desta monografia é a análise da aplicação dos veículos híbridos em território brasileiro. Para este fim:

- 1- Identificaremos os principais benefícios da utilização dos veículos híbridos, em comparação com os veículos equipados com motor de combustão interna, bem como suas limitações e desvantagens;
- 2- Avaliaremos as oportunidades de popularização destes veículos no mercado brasileiro;
- 3- Faremos a comparação com dados de outros países que já possuem veículos híbridos incorporados em suas frotas.

O capítulo 2 mostra a história dos veículos híbridos, bem como a identificação das tecnologias atuais. O capítulo 3 analisa o contexto atual brasileiro, e o capítulo 4 identifica oportunidades e barreiras.

2. Histórico dos veículos elétricos e híbridos

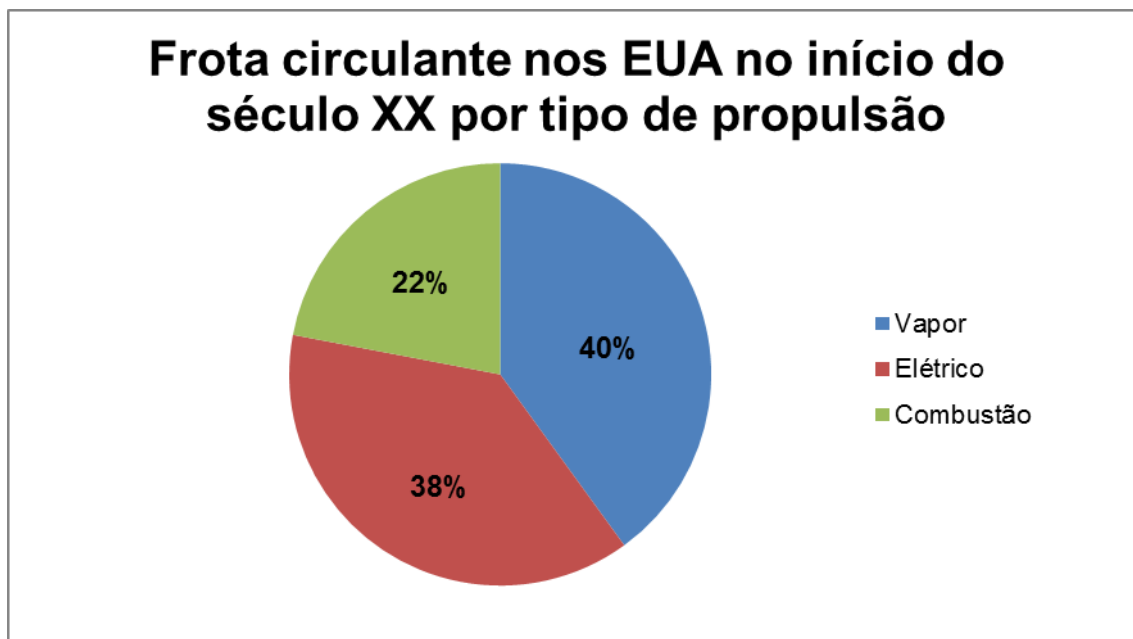
2.1. Histórico do veículo elétrico – EUA, início do século XX

No início da indústria automotiva – final do século XIX e início do século XX – diferentes tecnologias eram aplicadas nos veículos, e a maior parte da frota circulante era de veículos elétricos. Além desses, eram comuns os veículos movidos a motores de combustão interna, bem como veículos movidos a vapor.

Comparando-se as tecnologias existentes, os veículos de propulsão elétrica contavam com diversas vantagens quando comparados aos demais. Não havia a vibração característica dos motores a combustão interna, nem o ruído – o silenciador, mesmo tendo sido inventado em 1897, só foi incorporado ao automóvel alguns anos mais tarde. Também não estava presente nos veículos elétricos a emissão de poluentes associada aos motores a combustão. A operação também era facilitada, pois não havia a necessidade de troca de marchas, necessária na época aos veículos movidos por combustíveis fósseis. Outra nítida vantagem dos veículos elétricos ocorria no momento da partida, pois os veículos com motores de combustão interna necessitavam do acionamento manual de uma manivela para iniciar a operação – de acordo com Boyd (1957), o motor elétrico de partida foi uma tecnologia desenvolvida somente em 1912, por Charles Kettering.

À época, os Estados Unidos (EUA) eram o maior mercado automotivo global, possuindo cerca de 90 mil veículos registrados. Desse total, 40% dos veículos eram movidos a vapor, 38% dos veículos tinham propulsão elétrica e 22% eram movidos por motores de combustão interna [Bellis (2014); Electric Vehicles News (2014)], conforme a figura 2.1 a seguir.

Figura 2.1 – Frota circulante nos EUA no início do século XX por tipo de propulsão.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, com base nos dados de BELLIS (2014); Electric Vehicles News (2014).

Dadas as vantagens dos veículos elétricos em relação as outras tecnologias, seria razoável presumir que a tecnologia prevaleceria em relação às outras nos anos seguintes. Porém, por diversos outros fatores, nas próximas décadas se estabeleceu o motor a combustão interna como padrão da indústria. Fatores que contribuíram de forma significativa para o estabelecimento dos motores a combustão interna como padrão da indústria foram a infraestrutura e os custos associados ao veículo. Cabe ressaltar que no início do século XX as áreas rurais não tinham acesso à eletricidade, e mesmo as áreas urbanas apresentavam sérias limitações. Apesar de já existir algum tipo de iluminação elétrica em vias públicas, a eletricidade dentro das residências era restrita às camadas mais ricas da sociedade da época. A forma como as cidades americanas se desenvolveram economicamente gerou um sistema mais dependente de estradas, sendo necessários então veículos com maior autonomia. Para que os veículos com maior autonomia pudessem ser viáveis, o preço do combustível deveria ser acessível. Coincidentemente, no início do século XX foram descobertas grandes reservas de petróleo no Texas, fazendo com que a gasolina fosse oferecida em abundância e tivesse fácil acesso pela população.

Assim, começaram a surgir diversos postos de abastecimento pelo país e o veículo movido por motor à combustão interna tornou-se o padrão dominante da indústria. Por muitos anos, a gasolina abundante e barata impedia o desenvolvimento de quaisquer tecnologias alternativas.

Em 1913, Henry Ford inicia o primeiro sistema de produção em massa na empresa que leva seu nome, produzindo em série o Ford modelo T, visto na figura 2.2 abaixo. O objetivo desse sistema era baratear o custo de produção, fazendo com que o veículo se tornasse mais acessível.

Figura 2.2 – Ford Modelo T, primeiro carro produzido em série.



Fonte: <http://www.caranddriver.com/features/how-to-drive-a-ford-model-t>, acessado em 26/01/2017.

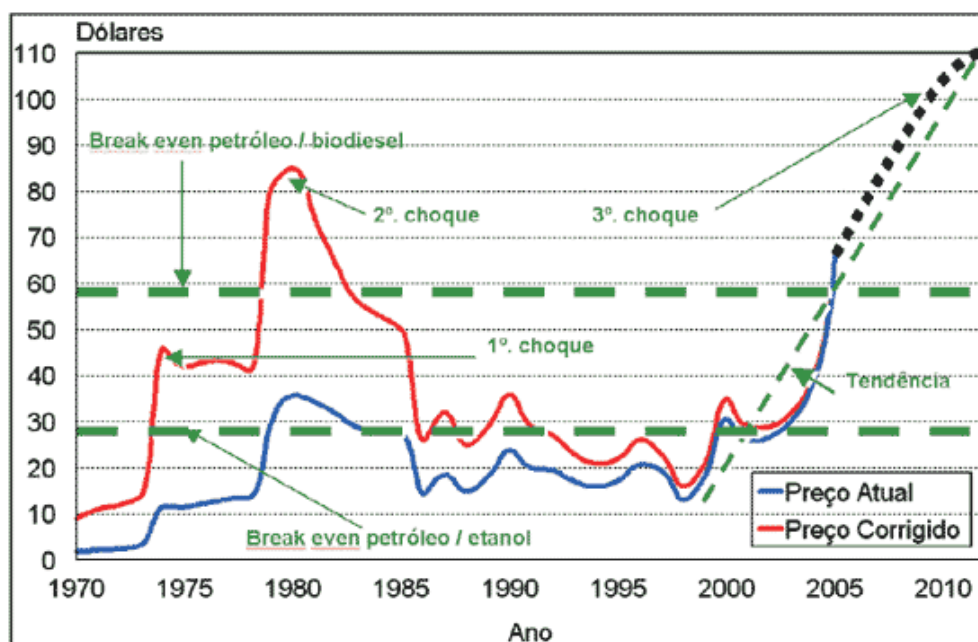
Antes do sistema desenvolvido por Ford, a fabricação dos veículos era um processo totalmente artesanal, fazendo com que os carros tivessem um alto preço e fossem considerados um artigo de luxo, sendo destinados às classes mais ricas.

Com o sistema desenvolvido por Ford, um veículo movido por motor à combustão interna passou a ser vendido por US\$ 650 (valor equivalente a US\$ 15.617 em 2014). Comparativamente, um veículo elétrico custava em torno de US\$ 1750 (equivalente a US\$ 42.045 em 2014). [Bellis (2014); Electric Vehicles News (2014)], sendo também um fator fundamental para o estabelecimento da tecnologia de motores a combustão como padrão da indústria.

O panorama começou a mudar nos anos 70. Embora o preço do barril tenha permanecido razoavelmente estável durante boa parte do século XX, o

embargo dos países da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) no início dos anos 70 resultou em escassez no fornecimento de petróleo, tendo como consequência o aumento considerável do preço do barril, elevando também o preço da gasolina, conforme observado na figura 2.3 abaixo.

Figura 2.3 – Gráfico comparativo do preço do barril de petróleo cru desde 1970.



Fonte: <https://www.biodieselbr.com/>, acessado em 26/01/2017.

A escassez de petróleo levou diversos países a repensarem suas políticas em relação aos combustíveis fósseis. Foi identificada então a necessidade de maior independência no fornecimento de combustíveis fósseis e de desenvolvimento de tecnologias alternativas de propulsão. [Matulka (2014)].

De acordo com o site oficial do Congresso dos EUA, em 17 de setembro de 1976, foi promulgado nos Estados Unidos o Electric and Hybrid Vehicle Research, Development, and Demonstration Act, autorizando o Ministério de Energia a apoiar projetos de pesquisa e desenvolvimento (R&D) em veículos híbridos e elétricos. Como consequência da crise do petróleo e do Ato governamental promulgado, no início dos anos 70 as empresas Sebring-Vanguard e American Motors Corporation (AMC) apresentaram carros elétricos comerciais. A primeira fabricava um pequeno carro elétrico para uso urbano, o CitiCar, tendo sido produzido de 1974 a 1977.

A Sebring-Vanguard foi vendida para a Commuter Vehicles, Inc, que produziu duas outras variações entre 1979 e 1982, o ComutaCar e o Postal ComutaVan. Considerando todas as variações do CitiCar, vistos na figura 2.4 abaixo, foram produzidas 4444 unidades até 1979.

Figura 2.4 – CitiCar, ComutaCar e Postal ComutaVan.



Fonte: www.evalbum.com/, acessado em 26/01/2017.

Nos anos 1990, a California Air Resources Board começou a pressionar por veículos com maior eficiência energética e menor emissões de poluentes, tendo como meta de longo prazo veículos com emissão zero. Como resultado, os fabricantes começaram a desenvolver veículos elétricos, tais como o Chrysler TEVan, Ford Ranger EV, GM EV1, S10 EV, Honda EV Plus hatchback, Nissan Altra EV e Toyota RAV4 EV. Eventualmente, esses veículos deixaram de ser fabricados, porém a indústria segue no desenvolvimento de tecnologias alternativas ao motor de combustão interna.

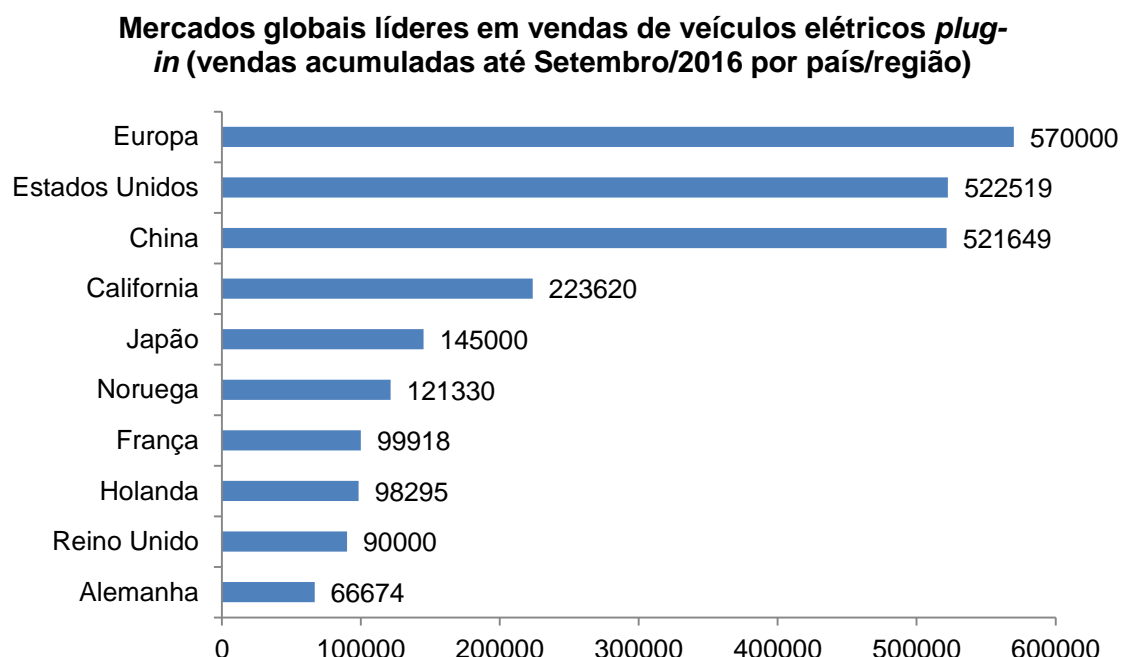
Em 2004, a Tesla Motors anuncia o lançamento do Tesla Roadster, que começa a ser entregue para clientes em 2008. O Roadster é o primeiro veículo elétrico de produção em série a utilizar baterias de íons de lítio, e o primeiro a ter autonomia superior a 320 km por carga. Após o lançamento do Roadster, diversos outros fabricantes lançaram veículos elétricos, tais como Mitsubishi i-MiEV, Nissan Leaf, Ford Focus Electric, Tesla Model S, BMW ActiveE, Coda, Renault Fluence Z.E., Honda Fit EV, Toyota RAV4 EV, Renault Zoe, Roewe E50, Mahindra e2o, Chevrolet Spark EV, Fiat 500e, Volkswagen e-Up!, BMW i3, BMW Brilliance Zinoro 1E, Kia Soul EV, Volkswagen e-Golf, Mercedes-Benz B-Class Electric Drive, Venucia e30, BAIC E150 EV, Denza EV, Zotye Zhidou E20, BYD e5, Tesla Model X, Detroit Electric SP.01, BYD Qin EV300, e Hyundai Ioniq Electric.

O Leaf, produzido pela Nissan, ultrapassou a marca de 200.000 veículos vendidos globalmente em dezembro de 2015, cinco anos após o início de sua

fabricação. No mesmo mês o Tesla S ultrapassa a marca de 100.000 veículos vendidos. O Tesla Modelo 3 foi anunciado em 31 de março de 2016, e teve 325.000 reservas durante a primeira semana.

O gráfico da figura 2.5 abaixo mostra as vendas de veículos elétricos entre as diferentes regiões do mundo:

Figura 2.5 – Mercados globais líderes em vendas de veículos elétricos *plug-in* (vendas acumuladas até Setembro/2016 por país/região).



Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis em www.hybridcars.com/, acessado em 01/12/2016.

2.2. Histórico dos veículos elétricos no Brasil

No Brasil, o cenário foi bem diferente daquele apresentado nos EUA. Na época, o foco do desenvolvimento estava nos veículos movidos à álcool, já que o principal foco da política pública era o Proálcool – Programa Nacional do Álcool. Ainda assim, a Gurgel, uma das únicas indústrias genuinamente nacionais de veículos, apresentou em 1974 o Itaipu, nome da então recém-inaugurada maior hidrelétrica do mundo. O protótipo inicial era de um minicarro urbano de dois lugares, conforme figura 2.6 abaixo, sendo o primeiro automóvel de motor elétrico desenvolvido na América Latina. Ele possuía um motor elétrico de 3,2 kW (4,2 cv), com velocidade máxima de 50 km/h e autonomia entre 60 km e 80 km.

Figura 2.6 – Gurgel Itaipu.



Fonte: <http://www.gurgel800.com.br/>, acessado em 26/01/2017.

O projeto inicial evoluiu para uma camionete elétrica, a Itaipu E-400, mostrada na figura 2.7, que tinha design mais avançado que a Volkswagen Kombi. A Itaipu E-400 furgão chegou a equipar frotas de companhias de eletricidade, porém devido ao alto peso e baixa autonomia das baterias da época, não tinha uma autonomia satisfatória. Apesar de serem revolucionários na época, a combinação de limitações de desempenho, preço acima das opções tradicionais e o fim do embargo dos países da OPEP contribuíram para seu fracasso, acarretando em um novo período de esquecimento do veículo elétrico no Brasil até os anos 1990 [Pereira (2007)].

Figura 2.7 – Itaipu E-400.



Fonte: <http://quatorrodas.abril.com.br/materia/gurgel-o-engenheiro-que-virou-carro>, acessado em 04/09/2016.

Em junho de 1992, após vinte anos da realização da primeira conferência sobre o meio ambiente, foi realizada no Rio de Janeiro a Rio-92, conferência das Nações Unidas para debater os problemas ambientais

mundiais. O evento marcou por despertar maior conscientização global pela melhoria da qualidade do ar nas cidades, pela redução das emissões de gases de efeito estufa e pela substituição de combustíveis fósseis por energias alternativas.

No setor automotivo, o efeito foi a busca por veículos mais eficientes e com menor impacto ambiental, retomando o interesse pela eletrificação veicular.

2.3. Histórico dos veículos híbridos

Em 1899, o Dr. Ferdinand Porsche, então um jovem engenheiro da Jacob Lohner & Co, construiu o primeiro Veículo Híbrido ou, mais especificamente, o primeiro carro Híbrido.

Figura 2.8 – Mixte, veículo híbrido de Lohner Porsche.



Fonte: <http://www.hybrid-vehicle.org/hybrid-vehicle-porsche.html>, acessado em 01/12/2016.

O "Mixte", veículo híbrido de Lohner-Porsche visto na figura 2.8 acima, utilizava um motor a gasolina que girava a uma velocidade constante para alimentar um dínamo, que carregava um banco de acumuladores. Estes, por sua vez, alimentavam corrente para motores elétricos instalados dentro dos cubos das rodas dianteiras. Dessa forma, não havia necessidade de sistema de transmissão - eixos, engrenagens, correias, correntes ou embreagem.

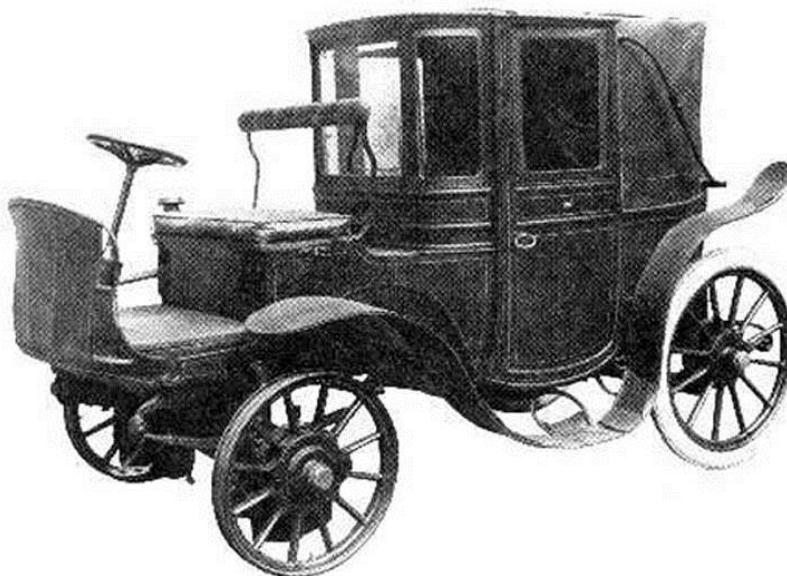
Devido à extrema simplicidade, a transmissão funcionava sem perdas produzidas por atrito mecânico, com um incrível rendimento de 83%.

Quando apareceu pela primeira vez na Exposição Mundial de Paris, em 14 de abril de 1900, o Lohner-Porsche com motores elétricos surpreendeu o mundo automotivo, tornando-se novidade para os fãs de automóveis da época.

O sucesso do projeto inovador lançou Dr. Ferdinand Porsche à fama como engenheiro. Porém, embora a tecnologia Lohner-Porsche fosse confiável, não era competitiva com carros convencionais a gasolina, pois seus custos de produção eram maiores. No total, foram produzidos 300 Lohner Porsches. A produção foi encerrada em 1906.

Contemporâneo ao Lohner Porsche, o híbrido de Krieger feito em 1903 utilizava um motor à gasolina para suplementar uma bateria, conforme figura 2.9 abaixo. Era bastante similar ao Lohner Porsche. Até a década de 1920, diversos fabricantes desenvolveram veículos híbridos sobre um molde semelhante.

Figura 2.9 – Krieger Hybrid.



Fonte: <http://www.modernracer.com/features/historyofthehybrid.html>, acessado em 01/12/2016.

Em 1905, Henri Piper aplicou para a patente de um veículo híbrido. Sua ideia era usar um motor elétrico para auxiliar um motor de combustão interna,

principalmente para aumentar a potência do motor para fazer com que o veículo acelerasse a 40 quilômetros por hora em 10 segundos, em vez dos 30 usuais. Porém, quando a patente foi emitida, três anos e meio mais tarde, os motores a combustão interna se tornaram poderosos o suficiente para atingir este tipo de desempenho por conta própria.

Carros híbridos como o belga Auto-Mixte, produzido em Liege Belgium em 1906 e 1907, utilizou a tecnologia Henri-Pieper. O motor de 24HP alimentava, através de uma embreagem de disco magnética, um dínamo do motor, que era conectado a uma transmissão sem caixa de engrenagem, e então às rodas traseiras pela transmissão final da corrente.

Normalmente, o motor sozinho poderia ser usado para impulsionar o carro. Quando a carga era leve ou a frenagem necessária, o dínamo movido pelo motor ou pela unidade final (frenagem regenerativa) poderia ser utilizado para carregar um banco de 28 baterias Tudor em série. Quando a carga era pesada a bateria poderia ser usada para dirigir o dínamo como um motor para auxiliar o motor, ou o motor elétrico poderia ser usado para dirigir o carro por conta própria. Isto foi conseguido usando um controlador operado manualmente para selecionar eletricamente a configuração requerida. O disco de embreagem também foi utilizado como parte do sistema de freio magnético.

A gasolina barata e os avanços no ICE e na produção de automóveis em geral (Henry Ford) gradualmente inibiram o desenvolvimento dos veículos híbridos, que não reapareceram somente nos anos 1960 e 1970, quando surgiram o GM512 (1965) e o táxi VW 1973, que foi produzido no auge do embargo do petróleo árabe.

2.4. Identificação das tecnologias de veículos híbridos atuais

2.4.1. Definição e características

Os veículos tradicionais são movidos por um motor à combustão interna. O nível de eficiência desses motores é de cerca de 40%, devido às perdas no processo de combustão, principalmente na forma de energia térmica. A eficiência desses motores que é de 17% a 21% [US Department of Energy

(2014)]. Além disso, o resultado da combustão gera diversos gases nocivos que são expelidos pelo escapamento.

Já os motores elétricos têm níveis de eficiência superiores de aproximadamente 60% [US Department of Energy (2014)].

Por definição, veículo híbrido é aquele em que o trem de força combina um motor de combustão interna com um motor elétrico. O motor elétrico é dimensionado para reduzir a carga sobre o motor de combustão interna, especialmente em situações que acarretariam em um consumo de combustível acima da média – por exemplo, durante acelerações bruscas. Dessa forma, o sistema híbrido auxilia na redução do consumo de combustível e na emissão de poluentes.

Dependendo do tipo de utilização do veículo e do modo de condução, os veículos híbridos apresentam os seguintes benefícios:

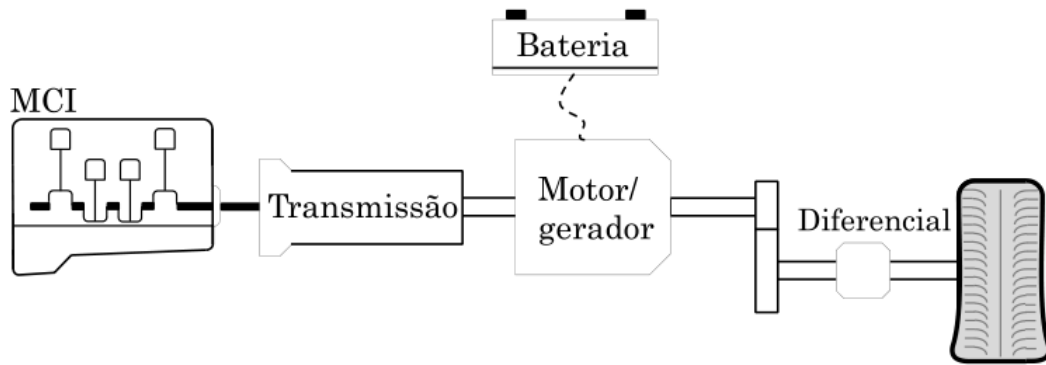
- Redução do consumo de combustível em até 25%
- Redução na emissão de CO₂ em até 25%
- Recuperação da energia de frenagem
- Aumento na força de acionamento do veículo, por conta do torque gerado pelo motor elétrico.

Neste estudo focaremos nas principais arquiteturas disponíveis atualmente, as quais trazem maior ganho para a economia de combustível e emissão de poluentes.

2.4.2. Sistemas híbridos em paralelo

Nos veículos equipados com sistema híbrido em paralelo, tanto o motor de combustão interna quanto o motor elétrico são capazes de fornecer energia para as rodas, através de uma transmissão similar à de veículos convencionais equipados com motores de combustão interna. Dessa forma, o controle eletrônico do veículo varia a utilização de ambas as fontes de acordo com a necessidade – economia ou potência. A figura 2.10 apresenta o diagrama do veículo híbrido paralelo.

Figura 2.10 – Diagrama do veículo híbrido paralelo



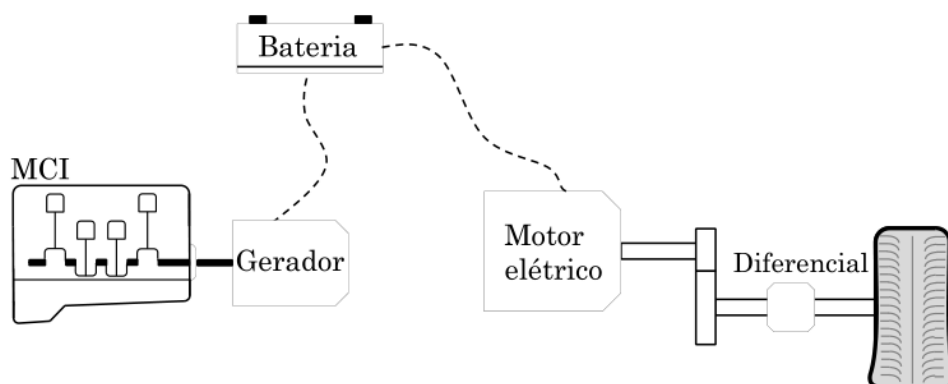
Fonte: TRINDADE, 2016.

2.4.3. Sistemas híbridos em série

Neste tipo de configuração, o motor à combustão interna não aciona as rodas, essas são tracionadas exclusivamente pelo motor elétrico. A função do motor à combustão é fornecer energia ao gerador responsável por acionar o motor elétrico e por carregar a bateria, nas arquiteturas em que a bateria é utilizada. Para esta aplicação, o motor à combustão interna trabalha em uma faixa de rotação de maior eficiência, permitindo assim a adoção de motores mais compactos e menos poluentes.

Este tipo de configuração é a ideal para os veículos “*plug-in*”, que podem ser recarregados por uma fonte externa de energia – *wall box* ou tomada. Por possuírem baterias de maior capacidade – quando comparados aos híbridos em paralelo – esses veículos podem oferecer uma maior autonomia. A figura 2.11 apresenta o diagrama do veículo híbrido paralelo.

Figura 2.11 – Diagrama do veículo híbrido série

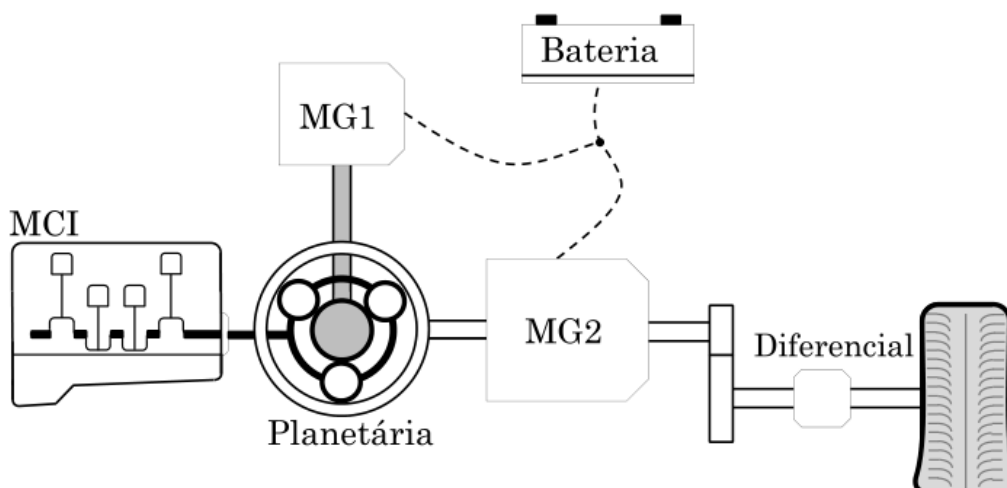


Fonte: TRINDADE, 2016.

2.4.4. Sistemas híbridos série-paralelo ou mistos

Os híbridos série-paralelo utilizam um divisor de potência, combinando as vantagens de ambos os sistemas. Neste sistema, o veículo pode ser tracionado apenas pelo motor elétrico em baixas velocidades, tendo o suporte do motor à combustão para situações que requerem maior torque e potência. A figura 2.12 ilustra o diagrama do veículo série-paralelo.

Figura 2.12 – Diagrama do veículo híbrido série-paralelo



Fonte: TRINDADE, 2016.

2.4.5. Sistemas híbridos Full-Hybrid

Como principal característica, os veículos *Full-Hybrid* podem operar em modo puramente elétrico por longos períodos de tempo. Analogamente aos sistemas série-paralelo, a tração pode ser fornecida tanto pelo motor elétrico quanto pelo motor à combustão, ou pela combinação de ambos. Adicionalmente, os motores elétricos recuperam a energia de frenagem quando não estão tracionando o veículo.

Em baixas velocidades, o motor à combustão interna é desligado, sendo acionado somente quando for necessária potência adicional, ou para recarga da bateria. Esta estratégia tem como benefício a utilização do torque constante do motor elétrico para o deslocamento inicial do veículo, evitando assim a utilização do motor à combustão interna.

3. Análise do contexto brasileiro

3.1. Mercado brasileiro – distribuição dos veículos elétricos e híbridos no Brasil

Embora o Brasil seja um dos principais mercados automotivos do mundo – atualmente é o nono maior mercado, porém chegou a ocupar a quarta colocação – a oferta de veículos híbridos e elétricos em território brasileiro ainda é pífia. A maior parte dos modelos oferecidos é de alto luxo, sendo que alguns não estão disponíveis para pronta entrega – podem ser adquiridos somente por encomenda. Dentre os principais modelos disponíveis, podemos citar o Toyota Prius e o Ford Fusion.

A frota brasileira de automóveis de passeio elétricos e híbridos dobrou entre 2013 e 2015, alcançando a marca de 4,7 mil veículos. A frota de ônibus também é limitada – a frota elétrica é majoritariamente de trólebus, presentes em apenas três corredores, todos no estado de São Paulo. De acordo com VAZ (2015), Os ônibus híbridos compõem a segunda frota em volume e estão presentes nas cidades de São Paulo (SP) e Curitiba (PR), onde estão os dois fabricantes instalados no Brasil – a empresa brasileira Eletra e a sueca Volvo. Os ônibus a hidrogênio e os elétricos a bateria são oriundos de projetos de demonstração. A tabela 3.1 abaixo mostra a frota estimada de ônibus híbridos e elétricos.

Desde julho de 2015, opera no Brasil a fábrica da BYD. Com investimento inicial de R\$ 150 milhões, a empresa de origem chinesa é especialista em baterias e veículos híbridos e elétricos, contemplando a primeira fábrica de ônibus 100% elétrico da América Latina.

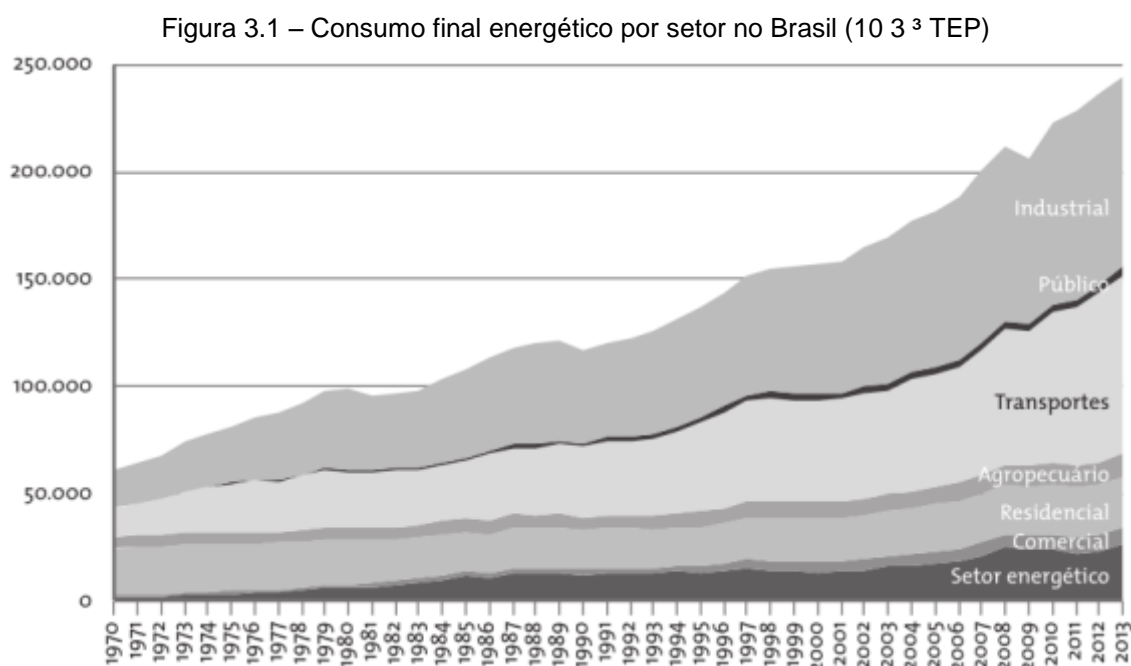
Tabela 3.1 – Frota estimada de ônibus elétricos e híbridos no Brasil

Tipo	Quantidade
Trólebus	276
Híbrido	78
Elétrico a bateria	1
Hidrogênio	2
Total estimado	357

Fonte: VAZ, Luiz F. e outros – Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento, março/2015.

3.2. Setor de transportes

Na economia de qualquer país, o setor de transportes desempenha papel fundamental, seja na movimentação de pessoas ou de cargas. Faz-se necessário o correto entendimento do perfil da matriz de transportes para o desenvolvimento de políticas públicas, pois se trata de um setor de alta demanda energética e grande impacto ambiental. A figura 3.1 abaixo mostra que o setor de transportes é o segundo maior consumidor de energia do país, atrás apenas da indústria.



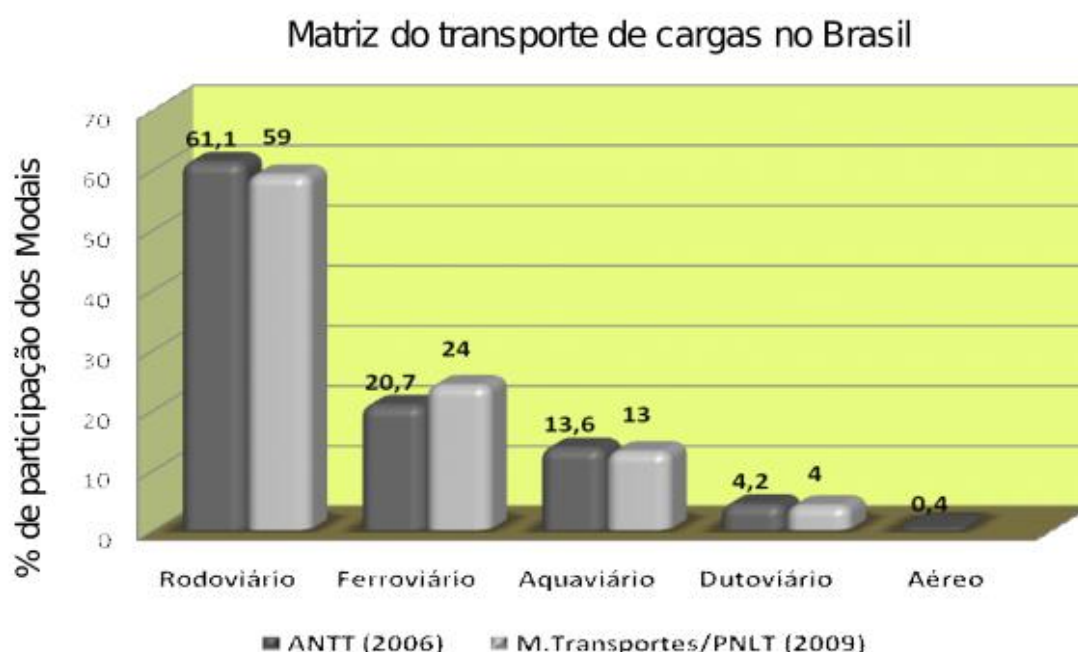
Fonte: VAZ, Luiz F. e outros – Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento, com base nos dados ANP 2014.

De acordo com VAZ (2015), desde 1970 a demanda cresceu a uma taxa média de 4,4% ao ano, enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu o equivalente a 3,9% ao ano. Em 2013, liderou o aumento da demanda energética, crescendo 5,2% e chegando a cerca de 83 milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP) ou 31,9% do consumo final brasileiro.

A indústria retraiu o consumo em -0,5%, atingindo 88 milhões de TEP. Do total consumido pelo setor de transportes, o predomínio é rodoviário: aproximadamente 92,6% são oriundos desse modo, 4,4% do aéreo, 1,6% do hidroviário e 1,4% do ferroviário [ANP (2014); EPE (2014)].

O transporte rodoviário é majoritariamente caracterizado por veículos movidos por combustíveis fósseis. Como apresentado no gráfico acima, a indústria lidera o consumo total de energia no país. Porém, suas fontes de energia são diversas, sendo que a de maior participação é a eletricidade. Já o setor de transportes depende majoritariamente do petróleo, liderando a demanda com o consumo final energético de derivados de petróleo de 68,9%. Desse consumo, a principal fonte é o óleo diesel, seguido da gasolina [EPE (2014)]. O primeiro é utilizado predominantemente em veículos comerciais – ônibus e caminhões – enquanto a gasolina é usada principalmente em automóveis de passeio e motocicletas. A figura 3.2 abaixo mostra a matriz do transporte de cargas no Brasil. Nesse contexto, há uma grande oportunidade no mercado brasileiro para a utilização em massa de veículos híbridos, e futuramente, elétricos.

Figura 3.2 – Matriz do transporte de cargas no Brasil.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente - www.mma.gov.br/estruturas/163/arquivos/proconve_163.pdf, acessado em 14/09/2016.

3.3. Veículo a álcool e *flex fuel*

No Brasil, desde a década de 70 com o surgimento do Programa Nacional do Álcool – Popularmente conhecido como Pró-álcool – houve incentivo à utilização de fontes de energias alternativas aos combustíveis fósseis. O programa em questão trazia incentivos ao uso de etanol ao invés de

gasolina como combustível. O primeiro automóvel produzido em série equipado com motor a etanol foi o Fiat 147, lançado em 1979. Embora tenha suas vantagens, nota-se que automóveis movidos a etanol também emitem gases de efeito estufa. A tabela 3.2 abaixo compara o etanol à gasolina.

Tabela 3.2 – Tabela comparativa das vantagens e desvantagens da utilização de etanol como combustível.

Vantagens	Desvantagens
Não depende de variação de preços de combustíveis fósseis importados.	A produção do etanol ocupa uma área produtiva que poderia ser utilizada para produção de alimentos.
Menor emissão de poluentes (comparado com a gasolina)	Dissolve parte da película de óleo lubrificante no interior dos cilindros.
Menor emissão de CO ₂	Poder corrosivo maior do que o da gasolina
	Pode calorífico inferior ao da gasolina, portanto maior consumo de combustível.

Fonte: elaboração própria, com base nos dados de <https://www.novacana.com/>, acessado em 26/01/2017.

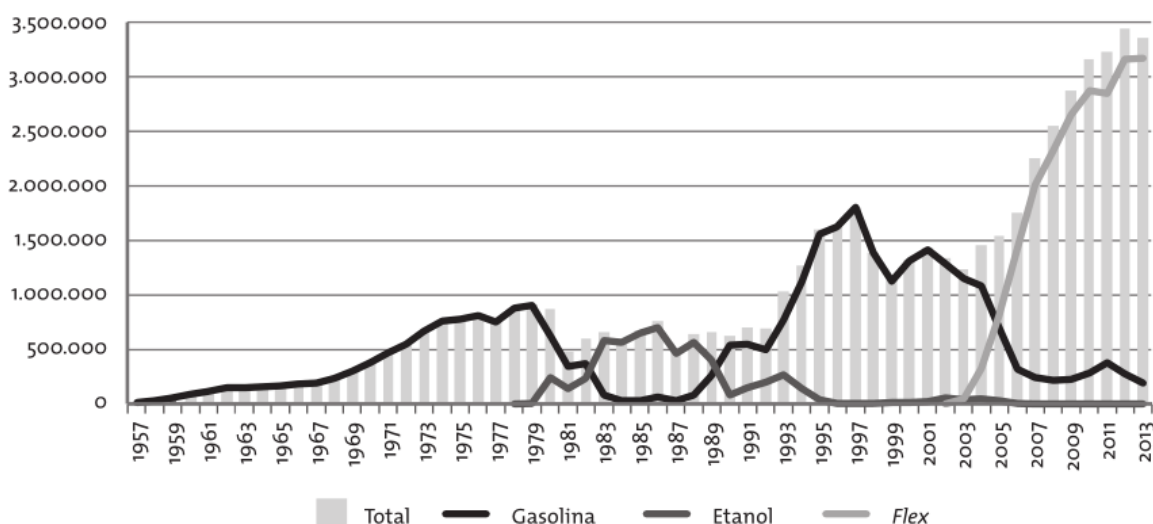
Se por um lado a utilização do etanol reduz a dependência do derivado de petróleo, por outro lado as emissões de poluentes também estão presentes, ainda que em menor quantidade. O etanol é entendido como ciclo fechado de absorção e liberação de carbono, pois a cana-de-açúcar absorve o CO₂ – emitido como poluente – da atmosfera, principalmente durante a fase de crescimento.

Como explica Vaz (2015), é necessário observar a localização das emissões. Os grandes centros urbanos, por exemplo, notoriamente sofrem com altos índices de poluição, que, a princípio, não seriam solucionados com veículos a etanol. Por mais que as plantações absorvam o carbono da atmosfera, a população urbana continuaria sofrendo seus impactos diretos. A adoção em massa de veículos puramente elétricos merece igual cautela: é necessária uma matriz de geração de eletricidade limpa para que o balanço global seja positivo. Caso contrário, um incentivo à adoção de veículos elétricos poderia penalizar a sociedade, pois implicaria a produção de mais energia

elétrica de forma não sustentável, diminuindo as emissões nos centros urbanos, mas aumentando no local da geração.

No Brasil, os veículos *flex fuel* dão a opção ao consumidor de abastecer com gasolina ou etanol, de acordo com a variação de preços dos combustíveis no mercado. Com uma introdução gradual em 2003, tendo como pioneiro o Volkswagen Gol 1.6 Total Flex, os veículos flexíveis em combustível são maioria esmagadora no mercado nacional, como mostrado na tabela 3.3 abaixo. Essa tecnologia já foi até adaptada para veículos considerados *premium*, com adoção de alta tecnologia, como por exemplo motores de combustão com injeção direta de combustível e sobrealimentados por turbo compressores. Uma marca que utiliza essa tecnologia é a BMW.

Figura 3.3 – Brasil – total de licenciamentos por combustível: série histórica 1957-2013 (em unidades).



Fonte: VAZ, Luiz F. e outros – Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento.

3.4. Veículos híbridos e elétricos – balanço energético

Se considerarmos a adoção de veículos não poluentes – predominantemente elétricos – ou híbridos *plug-in* – PHEV – não haverá emissões de poluentes (elétricos) ou estas serão reduzidas, quando comparadas a veículos movidos por motor de combustão interna. Porém, a energia gerada para abastecimento dos mesmos deve prover de uma matriz limpa, para que o balanço global seja positivo.

Nos últimos anos, porém, houve um aumento expressivo da utilização de termoelétricas no parque de geração nacional, tendo um impacto negativo nas emissões na geração de eletricidade, que tiveram um aumento de 87,2 milhões t/CO₂e em 2005, ou 3,71% do total brasileiro, para 145,6 milhões t/CO₂e em 2012, ou 9,78% do total [EPE (2014)].

A inclusão em massa dos veículos híbridos – principalmente PHEV – e posteriormente veículos elétricos no mercado brasileiro pode acarretar em impactos na matriz energética – diversos estudos já foram publicados sobre este tema. De acordo com Borba (2012), o impacto dos veículos elétricos na rede elétrica está intimamente associado ao momento da recarga. Segundo Kiviluoma e Meibom (2011) e Hadley e Tsvetkova (2008), se não houver um controle no momento da recarga das baterias, pode haver um aumento no pico de energia elétrica da noite. Como consequência, a utilização de unidades geradoras para atender à demanda de pico irá aumentar, acarretando o aumento da carga dos transformadores, perdas no sistema de distribuição, desvios de tensão e aumento da corrente de falta (Green II et al., (2011); Lin et al., (2010); Papadopoulos et al., (2010); Clement-Nynset et al., (2010); Shao et al., (2009)). Além disso, a recarga dos veículos pode demandar potência reativa e gerar distorções harmônicas (Onar e Khaligh, (2010)), devido às características de carga dos carregadores de veículos elétricos e PHEV

O ponto principal na recarga desses veículos é a potência necessária no momento de recarga, e não a energia demandada: se, em 2011, 20% de toda a frota de veículos leves no Brasil fosse composta por veículos elétricos ou PHEV, a demanda de energia seria equivalente a menos de 2% do total. Porém, se todos esses veículos efetuassem recarga ao mesmo tempo, seria necessária uma potência bem maior, o que poderia gerar impactos de até 20% na demanda máxima de energia, dependendo do modo de carga (Borba, (2012)).

De acordo com Baran (2012), em relação ao balanço energético total, mesmo que houvesse aumento significativo da frota de veículos PHEV e elétricos, ainda assim o ganho seria considerável, pois esses veículos são mais eficientes e compensam o combustível fóssil que deixaria de ser consumido.

Para que o sistema seja eficiente e o impacto minimizado, Sperandio, Saldanha e Basso (2012) sugerem que a interface dos veículos com a rede seja controlada, fazendo com que ele forneça energia em horários críticos e se recarregue durante o período de baixa demanda (de madrugada, estacionado na garagem), usando tecnologias de *smart grid* e *vehicle to grid*.

Os veículos híbridos e elétricos vêm ganhando espaço de forma gradativa no mercado mundial. Conforme a frota cresce, deve ser feito um plano de investimentos para suportar esse crescimento. Antes até do incremento da geração de energia, a distribuição de energia deverá ser ampliada, para suportar a carga dos veículos.

Segundo Wilson (2013), os investimentos em geração de energia devem privilegiar fontes renováveis e de baixa emissão de poluentes, para que o benefício da tecnologia seja maximizado. Desde que o arranjo da matriz energética brasileira seja preservado, a popularização da tecnologia trará benefícios ambientais, pois reduz as emissões globais.

3.5. Veículos híbridos – vantagens e desvantagens

Conforme Vonbun (2015), uma comparação anedótica, mas ainda assim interessante, da conceituada revista *Car and Driver* comparou quatro versões do mesmo carro (Swan, 2013), o Volkswagen Jetta. São comparadas as versões a diesel, híbrida (HEV – hybrid electric vehicle, 3 ou veículo híbrido elétrico) e duas a gasolina – uma mais econômica, outra mais luxuosa e de melhor desempenho. O comparativo considerou custo de aquisição, manutenção, economia de combustível e avaliações subjetivas de prazer ao dirigir e “consciência ecológica”. Os modelos custavam entre US\$ 23.690 – versão a gasolina mais barata, com motor cinco cilindros de 2,5 l – e US\$ 30.120 – versão HEV com motor 1,4 l turbo. Os outros dois modelos são dois de quatro cilindros turbo de 2 l, um a diesel, outro a gasolina. O modelo a diesel foi o mais econômico, apresentando rendimento de 39 milhas por galão de gasolina (16,58 Km/l), seguido de perto pelo híbrido (16,16 Km/l). Os modelos a gasolina gastaram 13,18 Km/l e 11,05 Km/l, para o 2.0 e o 2.5 respectivamente. Em tese, contudo, o híbrido é o mais econômico, pois está certificado na Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA – *Environmental*

Protection Agency) por fazer 42 MPG na cidade e 48 na estrada (17,85 e 20,4 Km/l, respectivamente), contra 30 e 42 do diesel (12,75 e 17,85 Km/l, respectivamente), corroborando o que a literatura ressalta: o consumo dos híbridos depende sobremaneira da maneira como se dirige. Quanto ao desempenho, o melhor foi o 2.0 a gasolina (turbo), seguido do híbrido e do a diesel. Como resultado do comparativo, não surpreendentemente, a *Car and Driver* colocou o modelo esportivo em primeiro (2.0 turbo a gasolina), mas também surpreendentemente teve o híbrido em segundo, pois apresentou bom desempenho e bom consumo de gasolina, em parte propiciado pela vantagem de poder ter um motor menor, suplementado pelo motor elétrico. A contrapartida foi o seu maior peso – devido às baterias –, o que piorou a economia, o desempenho e a dirigibilidade. O segundo lugar para um híbrido nesta revista revela um pouco de seu potencial. Mas é importante notar a melhor economia do diesel em relação ao HEV – ainda que, provavelmente, se se tratasse de um PHEV, a economia seria superior.

Romm e Frank (2006) fazem uma apresentação dos veículos híbridos do tipo *plug-in* ressaltando suas vantagens. Os autores reconhecem o preço mais elevado dos PHEVs em relação aos veículos convencionais – em grande parte por conta das baterias e dos mecanismos de controle – e conseqüentemente o acréscimo de peso, fatores que acabam sendo limitantes do acréscimo de eficiência energética.

Mencionam ainda os ganhos obtidos com o sistema de frenagem regenerativa de energia (*regenerative braking*), sistema que recupera a energia cinética das frenagens, utilizando a energia gerada para recarga das baterias. Lembram também que pelo fato dos motores elétricos adicionarem potência total, somando-se aos motores a combustão, permitem que esses sejam menores e mais eficientes, pois podem fornecer potência adicional quando necessário. Os autores ressaltam também algumas tecnologias aplicadas aos veículos híbridos que os tornam mais eficientes que os veículos convencionais, como por exemplo a direção eletricamente assistida e o sistema de ar-condicionado alimentado por baterias ao invés de correias.

Os autores ressaltam os ganhos em termos de economia com os veículos híbridos, porém mencionam a necessidade de que a durabilidade das baterias seja elevada.

Simpson (2006) apresenta, utilizando o custo total de propriedade dos veículos ao longo de sua vida útil em dois cenários, uma análise de custo e benefício dos veículos híbridos do tipo *plug-in*, versus os híbridos convencionais (VEHs) e os veículos a combustão não híbridos. Os cenários considerados são de curto prazo e longo prazo. A análise é feita considerando-se o custo de energia e de combustível consumidos por esses veículos. Suas estimativas apontam que em curto prazo os VEHs terão custo menor que os veículos convencionais somente após dez anos de uso. Já os híbridos do tipo *plug-in* não atingirão custos menores que o dos veículos convencionais. No cenário de longo prazo, os VEHs, após quatro anos de uso, atingem custos menores que os veículos convencionais. Já os híbridos tipo *plug-in* precisam de doze anos para apresentarem custos menores que os VEHs. O autor conclui ainda que a equação de custo-benefício dos híbridos do tipo *plug-in* é diretamente proporcional a autonomia dos veículos. O custo de combustível e de baterias deve ser considerado, pois influencia os consumidores sobre o valor que estariam dispostos a pagar pelos veículos híbridos do tipo *plug-in*. Ele ressaltava ainda que os veículos híbridos do tipo *plug-in* têm um potencial elevado de redução de consumo de petróleo por veículo, chegando a um índice 45%, melhor que os 30% dos VEHs. Em contrapartida, ele nota que o benefício do aumento na autonomia dos veículos elétricos do tipo *plug-in* acarretam em uma elevação considerável de seus custos, e a incerteza sobre os custos impossibilita o cálculo da viabilidade econômica dos veículos híbridos do tipo *plug-in*.

Resumidamente, Romm (2006) destaca as principais vantagens dos veículos híbridos: a redução de emissão de CO₂ e o funcionamento em curtos trajetos, o que ocorre em tráfego urbano local, utilizando-se somente do motor elétrico, portanto com de emissão zero. Como benefícios diretos, haveria uma redução de gases tóxicos, principalmente em centros congestionados e poluídos.

De acordo com informações oficiais da prefeitura de Londres, houve um enorme investimento na redução da poluição por ônibus. Esse investimento tem como objetivo a melhoria da qualidade do ar. Londres tem hoje uma das frotas mais limpas e mais novas do mundo. A frota irá cumprir em breve um marco de redução de emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) de 20 por cento em comparação com os níveis de 2012. A frota de ônibus reduziu as emissões de material particulado de cerca de 200 toneladas nos anos 90 para cerca de 19 toneladas por ano. À medida que aumentar a frota de novos ônibus que atendam às normas de emissões vigentes Euro VI, a emissão de material particulado será reduzida ainda mais, para cerca de 14 toneladas por ano até 2020. Como principal medida que a prefeitura de Londres está implementando para reduzir as emissões, podemos destacar a introdução da maior frota de ônibus híbridos na Europa, com 1.700 ônibus híbridos –20% da frota – em operação até o final de 2016. Há o compromisso de fornecer 3.000 ônibus híbridos de dois andares e 300 ônibus de uma única ponte de emissão zero no centro de Londres até 2020. Além dessas medidas, já existem oito ônibus movidos à hidrogênio e 70 ônibus elétricos na frota.

4. Oportunidades e barreiras

4.1. Oportunidades

4.1.1. Poluição atmosférica

A poluição atmosférica refere-se a mudanças da atmosfera susceptíveis de causar impacto a nível ambiental ou de saúde humana, através da contaminação por gases, partículas sólidas, líquidos em suspensão, material biológico ou energia [www.epa.gov].

A influência dos poluentes no grau de poluição depende da sua composição química, concentração na massa de ar ou até mesmo das condições climáticas, que podem influenciar a sua dissipação, ou os mecanismos relacionados com reações que podem dar origem a novos poluentes.

A concentração dos contaminantes é reduzida à medida que estes são dispersos na atmosfera, o que depende de fatores climáticos, como temperatura, velocidade do vento e movimento de sistemas de alta e baixa pressão e a interação destes com a topografia local – montanhas e vales por exemplo. Normalmente, a temperatura é inversamente proporcional a altitude, porém pode ocorrer de uma camada de ar frio ficar sob uma camada de ar quente, produzindo uma inversão térmica. Nesta situação a dispersão ocorre mais lentamente e os contaminantes acumulam-se perto do solo.

Sendo a poluição atmosférica um dos grandes causadores de efeitos negativos na saúde humana, bem como alterações indesejadas no clima global, o controle e diminuição da poluição constitui-se, portanto, em uma oportunidade para a indústria automotiva. Com a massificação dos veículos híbridos – e futuramente os elétricos – poderá prosseguir com seu objetivo de produzir veículos de uso privado e comercial, agregando um diferencial de não contribuir para as emissões de poluentes atmosféricos.

4.1.2. Tipos de poluição e suas fontes

Existem diversas fontes de poluição atmosférica, que podem ser classificadas de acordo com suas causas, especificidade e dispersão – territorial e temporal.

A tabela 4.1 abaixo mostra os tipos de poluição classificadas de acordo com suas causas.

Tabela 4.1 – Tipos de poluição classificadas de acordo com suas causas.

Tipo de fonte	Exemplos
Antropogênicas	Poluição gerada por carros, fábricas, aerossóis, produção de energia, evaporação de químicos voláteis, emissão de poeiras como se verifica nas indústrias madeireiras e mineradoras.
Naturais	Emissões provenientes de vulcões, forneiras, metanos emitidos naturalmente por animais, fumos e fuligem de incêndios florestais, libertação de compostos radioativos por rochas, como no caso do rádio.

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados disponíveis em SILVA, 2006.

4.1.3. Principais poluentes e seus impactos na saúde humana

Dentre os diversos poluentes emitidos pelas fontes citadas acima, a análise segue com os principais poluentes emitidos pelos automóveis.

- **CO (monóxido de carbono)** – é um gás asfixiante. Diminui a oxigenação no sangue, causando tonturas, vertigens e alterações no sistema nervoso central. Uma vez na corrente sanguínea, transforma-se em CO₂ e participa de reações fotoquímicas. Agrava problemas cardíacos e respiratórios. Em concentrações muito elevadas, leva à morte.

- **NOx (Óxidos de nitrogênio)** – são gases irritantes. Provocam desconforto respiratório, diminuição da imunidade e alterações celulares. Agrava os problemas respiratórios, como alergias, asma e bronquite. Sua emissão é feita majoritariamente por veículos movidos a diesel.

- **HC (hidrocarbonetos)** – Assim como os óxidos de nitrogênio, provocam irritação nos olhos, nariz, pele e aparelho respiratório. São cancerígenos. Sua emissão é feita pelos motores de ciclo Otto (álcool e gasolina) e diesel.

- **CH₄ (metano)** – Apesar de não trazer grandes malefícios ao corpo humano, é um gás estufa. Seu excesso de emissão contribui para o aquecimento global.

- **CHO (aldeídos)** – Também é um gás irritante e provoca os mesmos efeitos do HC e NO_x, e também é cancerígeno. Aparece em ambos os ciclos de combustão.

- **MP (material particulado)** – é a famosa fumaça negra (soot), a qual aparece principalmente nos motores diesel. Além de causarem grandes danos ao sistema respiratório, pois ficam retidas nos alvéolos pulmonares, causando grande irritação e desconforto, também contribuem para agravar o efeito estufa. São partículas de material sólido ou líquido que podem conter uma variedade de componentes químicos. São classificados de acordo com seu tamanho, sendo que grande parte do MP de origem veicular tem diâmetro menor do que 2,5µm, podendo ser referido como MP_{2,5} [Brasil (2011, p. 19)].

- **CO₂ (dióxido de carbono)** – Assim como o metano, não é prejudicial à saúde, mas é o principal causador do efeito estufa, por ser o gás emitido em maior quantidade. Do ponto de vista da engenharia de motores, um aumento em seu volume costuma ser visto como algo positivo, pois ele é resultado de combustão completa, ou seja, o motor está trabalhando de maneira eficiente. A melhor forma de reduzir sua emissão reside na redução de consumo de combustível.

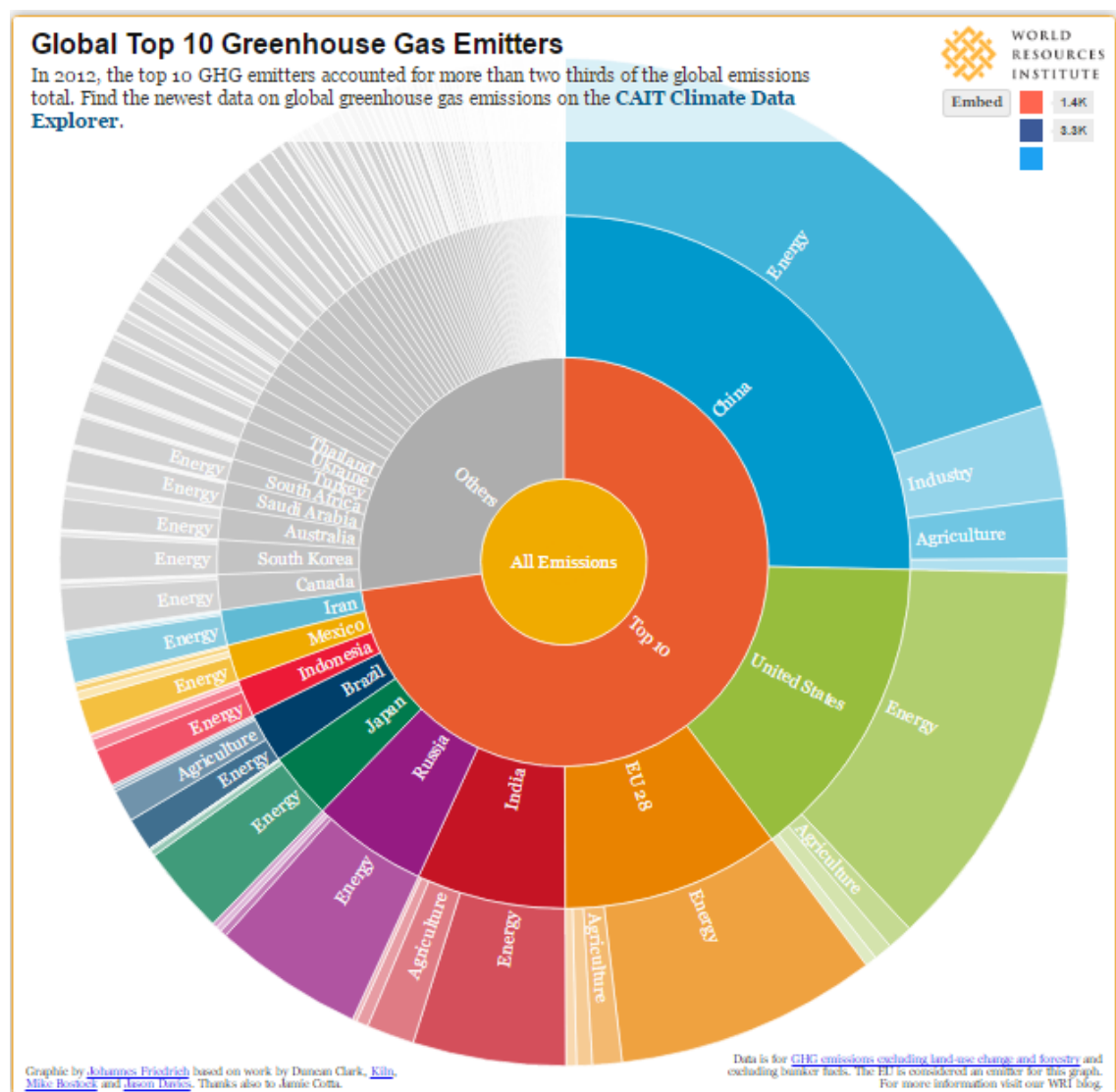
De acordo com VAZ (2015), os gases do escape dos sistemas a combustão contêm, além de dióxido de carbono (CO₂) e água, outros subprodutos, entre os quais: hidrocarbonetos não queimados (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP). Estes últimos, em especial nos grandes centros urbanos, têm ligação direta com doenças cardiorrespiratórias e são cancerígenos [WHO (2012)]. Estima-se que, apenas na cidade de São Paulo, quatro mil pessoas morram por ano por problemas causados pela poluição do ar, gerando custos de US\$ 1,5 bilhão ao Estado. Em comparação, a AIDS causa cerca de mil mortes ao ano [Saldiva (2010)].

4.1.4. O Brasil entre os países mais poluentes do mundo

De acordo com um estudo realizado pela WRI, em 2012 o Brasil ocupava a sétima colocação entre os países mais poluentes do mundo.

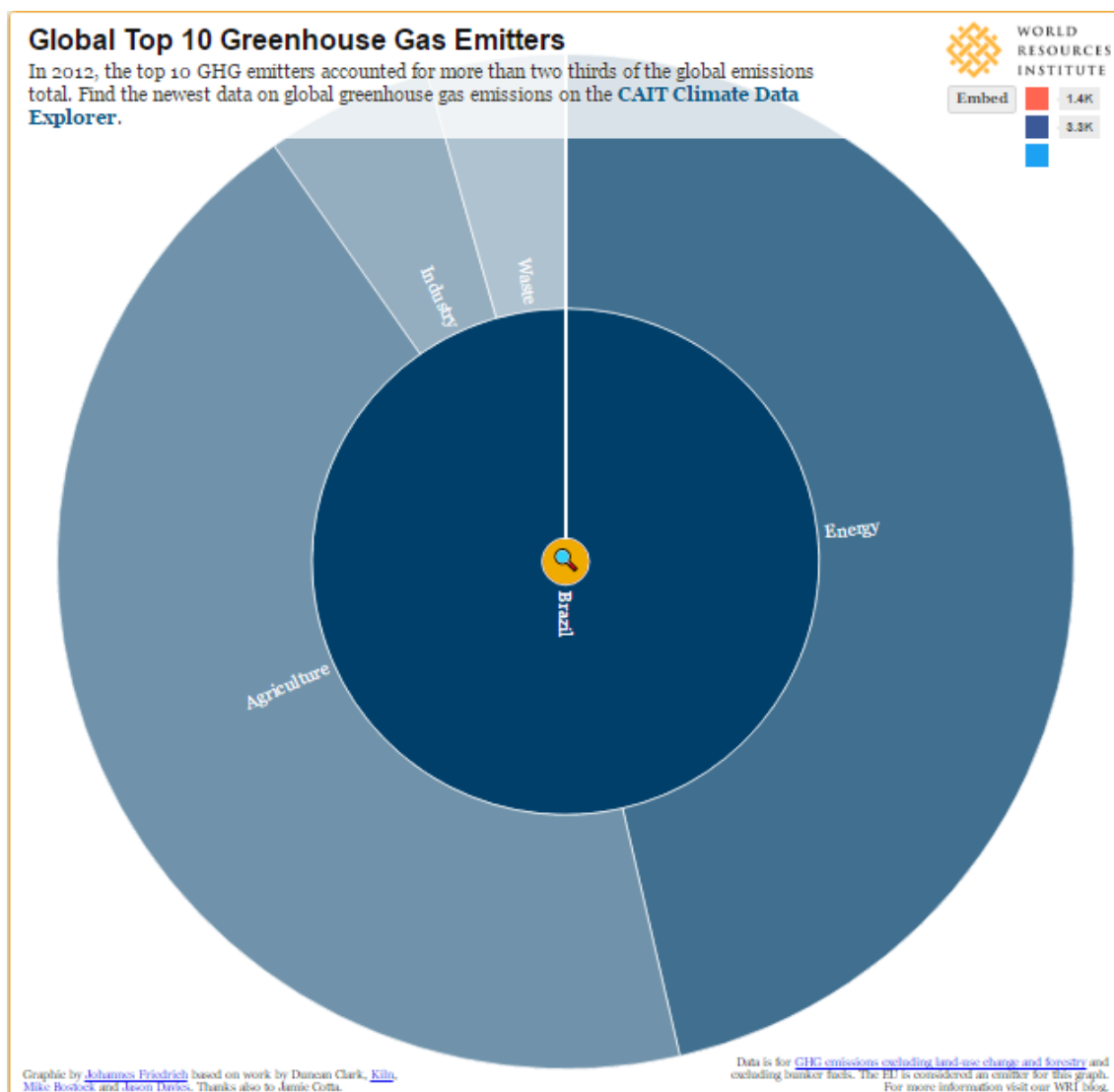
As figuras 4.1 e 4.2 abaixo mostram a posição do Brasil em relação aos outros principais países poluentes, bem como as principais fontes de poluição no Brasil. Importante notar que os dez países mais poluentes são responsáveis por 72% da emissão mundial dos gases de efeito estufa.

Figura 4.1 – Os dez países que mais emitem gases de efeito estufa globalmente.



Fonte: World Resources Institute - <http://www.wri.org/blog/2015/06/infographic-what-do-your-countrys-emissions-look>, acessado em 05/10/2016.

Figura 4.2 – Tipo de poluição por atividade – Brasil.



Fonte: World Resources Institute - <http://www.wri.org/blog/2015/06/infographic-what-do-your-countrys-emissions-look>, acessado em 05/10/2016.

4.1.5. Programas de controle de emissões veiculares – PROCONVE

Devido ao aumento da frota veicular, faz-se necessário um controle mais rígido em relação aos poluentes emitidos pelos veículos. O PROCONVE, estabelecido pelo Ministério do Meio Ambiente desde 1988, vem diminuindo cada vez mais os limites de poluentes emitidos, tendo como consequência a introdução de uma série de melhorias nos veículos.

Atualmente, o programa se encontra em sua sexta fase, com limites de emissões mais restritos em relação à fase anterior, que requer combustíveis específicos para que seja cumprida a legislação – Diesel S10, com reduzido teor de enxofre. Outra consequência da fase atual do PROCONVE é o

downsizing, termo que se refere à redução de cilindrada do motor para redução de emissões, porém com recursos para manter a potência em níveis mais elevados – com o uso de compressores ou turbo compressores, por exemplo.

A tabela 4.2 abaixo mostra as principais características e inovações nas cinco primeiras fases do PROCONVE.

Tabela 4.2 – Características e inovações nas cinco primeiras fases do PROCONVE.

Fase	Implantação	Característica / Inovação
Fase L-1	1988-1991	Caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes e aprimoramento dos projetos dos modelos já em produção. Iniciou-se também nesta fase o controle das emissões evaporativas. As principais inovações tecnológicas que ocorreram nesta fase foram: reciclagem dos gases de escapamento para controle das emissões de NOx; injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de CO e HC; implantação de amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC e a otimização do avanço da ignição.
Fase L-2	1992-1996	A partir dos limites verificados na Resolução CONAMA 18 de 1986, nessa fase investiu-se na adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica para uso com mistura de etanol, em proporção única no mundo. As principais inovações nos veículos foram a injeção eletrônica, os carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos. Em 1994 iniciou-se o controle de ruído dos veículos.
Fase L-3	1997-2004	Em face da exigência de atender aos limites estabelecidos a partir de 1º de janeiro de 1997 (Resolução CONAMA 15 de 1995), ocorreram reduções bastante significativas em relação aos

		limites anteriores, e o fabricante/importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor como, por exemplo, o sensor de oxigênio (denominado "sonda lambda").
Fase L-4	2005-2008	Tendo como referência a Resolução CONAMA Nº 315 de 2002, a prioridade nesta fase que teve início no ano de 2005 é a redução das emissões de HC e NOx, (substâncias precursoras de Ozônio). Para o atendimento desta fase, se deu o desenvolvimento de motores com novas tecnologias como a otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica.
Fase L-5	2009-2013	Com os limites de emissão da Resolução CONAMA Nº 315 de 2002, da mesma forma que na fase L-4, a prioridade na fase L-5 é a redução das emissões de HC e NO. De maneira análoga à fase L-4, as inovações tecnológicas se deram na otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica. Nesta fase deu-se a redução de 31% das emissões de hidrocarbonetos não-metano para os veículos leves do ciclo Otto e de 48% e 42% para as emissões de NO x para os veículos leves do ciclo Otto e Diesel, respectivamente. Além disso, as emissões de aldeídos foram reduzidas em, aproximadamente, 67% para os veículos do ciclo Otto.
Fase-L6	2014-atual	Sistema de redução catalítica seletiva (SCR - Selective Catalytic Reduction) para o escape de gases; - Uso do ARLA 32 no sistema catalítico.

		<p>- Sistema de recirculação de gases de escapamento (EGR - Exhaust Gas Recirculation) como opção ao sistema SCR.</p> <p>O Diesel S-10 está disponível a partir de 1º de janeiro de 2013 em postos selecionados para os veículos leves e pesados movidos a diesel fabricados a partir de 2012.</p>
--	--	--

Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos dados disponíveis em: http://www.mma.gov.br/estruturas/163/arquivos/proconve_163.pdf;, acessado em 15/11/2016; [<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/b4f3cb004de479c08eaa7f73cb9b3dc7/perguntas-frequentes-S-10.pdf?MOD=AJPERES>], acessado em 12/10/2016.

É importante notar que como os limites de emissões foram cada vez mais reduzidos, inovações tiveram que ser introduzidas nos automóveis para que se adequassem às leis. Desde a introdução da injeção eletrônica de combustível em substituição ao carburado até a adoção dos turbo-compressores por conta do *downsizing*, diversos investimentos em pesquisa e desenvolvimento para tecnologia tiveram que ser realizados.

Em fases futuras do programa, a tendência é que os limites sejam ainda mais reduzidos, fazendo com que veículos movidos exclusivamente por motores de combustão interna não sejam mais capazes de atender a legislação. Esta é a principal oportunidade para introdução dos veículos híbridos.

4.2. Barreiras

4.2.1. Impostos

Um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento de novas tecnologias são os altos impostos sobre vendas de automóveis, notadamente o IPI. No Brasil, eles representam 48,2% para carros até 1000 cm³ de cilindrada e 52,3% para automóveis até 2000 cm³. Acima dessa cilindrada, os impostos são de 54,8%.

Como forma de atenuar o problema e estimular a economia, desde 2008 o governo federal reduz a alíquota de IPI para compra de veículos novos. A redução ocorre por faixa de cilindrada, podendo a alíquota chegar a zero nos carros movidos a motores de 1000cm³.

Essas reduções foram aplicadas por período de tempo determinado, em alguns casos sendo prorrogadas por um novo período.

De acordo com NIGGLI (2014) alguns países já incentivam a adoção dos veículos elétricos, através de políticas públicas, e outras formas de incentivos que auxiliam esta tecnologia a se tornar mais atrativa a população.

A tabela 4.3 abaixo mostra as principais políticas de estímulo à demanda de veículos híbridos e elétricos adotada em países relevantes selecionados.

Tabela 4.3 – Principais políticas de estímulo à demanda de veículos híbridos e elétricos.

Região	Países	Incentivos Financeiros	Infraestrutura
América do Norte	EUA	Até US\$ 7,5 mil em crédito no valor de venda, de acordo com a capacidade da bateria. Há redução progressiva até o fabricante atingir duzentos mil veículos produzidos. Também há incentivos por parte de alguns estados.	Crédito de imposto de 30% do custo para instalações comerciais de pontos de recarga (limite de US\$ 30 mil). Crédito de imposto de até US\$ 1000 para instalações residenciais. US\$ 360 milhões destinados à infraestrutura em projetos-piloto.
Europa	Alemanha	Isenção de taxas de licenciamento.	Quatro regiões foram escolhidas para demonstração de elétricos puros e híbridos <i>plug-in</i> .
	Dinamarca	Isenção de impostos de registro e de licenciamento.	kr 70 milhões (cerca de US\$ 11 milhões) para o desenvolvimento de infraestrutura de recarga.
	Espanha	Subsídios de até 25% no preço do veículo antes dos impostos no montante de até € 6 mil (cerca de US\$ 7 mil).	Incentivos públicos para um projeto-piloto de demonstração. Incentivos para instalação de infraestrutura de recarga em colaboração entre governos federal e regionais.
	Finlândia	€ 5 milhões (cerca de US\$ 6 milhões) destinados ao programa nacional de desenvolvimento de veículos elétricos.	€ 5 milhões (cerca de US\$ 6 milhões) destinados à infraestrutura no âmbito do programa nacional de desenvolvimento de veículos elétricos.
	França	€ 450 milhões (cerca de US\$ 500 milhões) em descontos concedidos aos consumidores que comprarem veículos eficientes, com 90%	€ 50 milhões (cerca de US\$ 60 milhões) para cobrir 50% do custo com infraestrutura de recarga (equipamento e instalação).

		desse montante advindo de taxas sobre os veículos ineficientes e 10% de subsídios diretos.	
	Holanda	Redução de impostos no valor de 10% a 12% do custo do veículo.	Quatrocentos postos de recarga apoiados por incentivos.
	Itália	Isenção de taxas de licenciamento nos primeiros cinco anos. A partir do sexto ano, o desconto é de 75%.	-
	Noruega	Isenção de impostos de compra (IVA) e de licenciamento. Isenção de impostos de importação para elétricos puros.	Governo investiu cerca de € 6,5 milhões na construção de dois mil postos de recarga. Em 2013, 4,5 mil postos já estavam disponíveis.
	Reino Unido	Subsídio de 25% no preço do carro até o máximo de £ 5 mil (cerca de US\$ 8 mil) e de 20% no custo de um comercial leve até o máximo de £ 8 mil (cerca de US\$ 12 mil), desde que o veículo emita menos que 75 g CO ₂ /km. Há também isenção de taxas para veículos elétricos puros.	£ 37 milhões (cerca de US\$ 55 milhões) destinados a postos de recarga públicos, residenciais e em ruas e rodovias.
	Suécia	Isenção de taxa de licenciamento nos primeiros cinco anos. Subsídios de € 4.500 (cerca de US\$ 5 mil) no preço de veículos que emitam até 50 g CO ₂ /km. Equalização do valor tributável do veículo de baixa emissão ao do correspondente diesel/ gasolina para frotas de empresas.	Apoio por meio de fundo para pesquisa, desenvolvimento e demonstração. Não há incentivos mais amplos para infraestrutura.
	Portugal	Isenção de taxas de circulação e de inscrição fiscal. Aquisição de veículo novo com emissões inferiores a 140g CO ₂ /km tem um bônus de até € 1.000 ACEA (2009). Incentivo fiscal de €5.000 na aquisição do veículo elétrico para uso privativo e €6.500 em	-

		forma de abatimento se utilizar o veículo antigo na compra para incentivar a transição tecnológica do veículo.	
Ásia	China	Subsídios para a compra de veículos de até 元 60 mil (cerca de US\$ 10 mil).	-
	Índia	Subsídio de 100 mil INR (cerca de US\$ 2 mil) ou 20% do preço do veículo, prevalecendo o que for menor. Incentivos fiscais para elétricos puros e híbridos <i>plug-in</i> .	Há planos para facilitar a instalação de postos elétricos.
	Japão	Isenção de taxas de aquisição e sobre o peso do veículo. Incentivos de até ¥ 850 mil (cerca de US\$ 8 mil) para a compra de elétricos puros e híbridos <i>plug-in</i> .	Apoio para custear até 50% do custo do equipamento de recarga, limitado a até ¥ 1,5 milhão (cerca de US\$ 12 mil) por carregador.
	Israel	Redução de o imposto sobre a compra de veículos elétricos de 79% para 10% até 2014, e para 30% após 2019.	-

Fonte: Elaboração própria, com base em VAZ (2015) e NIGGLI (2014).

Os impostos afetam todos os veículos, desde os chamados “populares” até os de luxo, porém são especialmente danosos na introdução de novas tecnologias. Ocorre que toda nova tecnologia tem um grande investimento em pesquisa e desenvolvimento antes de ser lançada ao mercado. Assim, é natural que esse custo seja repassado no preço final do produto.

Com a alta tributação, novas tecnologias acabam sendo proibitivas em automóveis ditos “populares”, pois encareceriam demais, tornando-se inacessíveis para boa parte da população. Então, tecnologias de ponta são vistas primeiramente em veículos de alto custo, para somente anos depois serem disponibilizadas nos veículos mais baratos.

No Brasil, alguns incentivos já foram criados para contornar esse problema. A Resolução nº 97, publicada no Diário Oficial da União em 27 de Outubro de 2015 reduz o Imposto de Importação de veículos híbridos e elétricos. A alíquota, que era de 35% até então, passa a variar entre zero e 7%,

com base em aspectos como autonomia e tecnologia de propulsão – híbridos *plug-in*, por exemplo, têm alíquota maior do que veículos puramente elétricos.

Adicionalmente, de acordo com a Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE – nos estados brasileiros Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Sergipe e Rio Grande do Sul, os proprietários de veículos movidos a motor elétricos (ou de força motriz elétrica) são isentos do IPVA. Ainda de acordo com a ABVE, nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro os veículos elétricos possuem uma alíquota de IPVA diferenciada, sendo que na cidade de São Paulo os veículos elétricos e híbridos estão liberados do rodízio municipal.

4.2.2. Cenário político instável

O cenário político brasileiro passa por diversas crises, morais, éticas e principalmente de confiança. A situação econômica atual e a falta de políticas para investimentos de longo prazo fazem com que investidores de diversos setores tenham muita cautela antes de investir no país.

Nos últimos anos, o setor automotivo viu seus números de produção e vendas caírem, apesar dos incentivos fiscais – redução de IPI – para aquisição de veículos novos. Ocorre que a receita do passado para ampliar as vendas já não funciona mais, e a própria associação das montadoras – ANFAVEA – já propõe soluções diferentes para buscar a volta do crescimento do setor.

O principal programa do setor, Inovar-auto, foi criado em meio a uma série de questionamentos por parte da OMC sobre protecionismo de mercado, já que impõe uma tributação excessiva para as montadoras que não tenham fábrica no país e tenham um volume de vendas significativo. A segunda fase do programa, bem como as explicações para os – diversos – pontos não muito bem esclarecidos no texto original, ainda não foram apresentados. Justamente pela falta de uma política de longo prazo para o setor, o cenário de incertezas se intensifica e o mercado não reage.

4.2.3. Ciclo de vida das baterias

De acordo com RODRIGUES (2010), nos veículos híbridos elétricos, o maior desafio tecnológico é o desenvolvimento das baterias. Temos

atualmente, diferentes tipos de baterias, com diferentes materiais e características, sendo mais conhecidas as baterias de chumbo, níquel cádmio, níquel metal e a de lítio. A mais promissora tecnologia de bateria é a de lítio em função das suas propriedades. Em comparação com a bateria de chumbo, ela tem maior energia específica, capacidade de armazenamento por unidade de massa e maior ciclo de vida. Atualmente, as baterias de lítio são comercializadas em pequenos módulos. Para se obter uma bateria de maior capacidade, são necessárias uma série de combinações modulares com ligações em série e em paralelo. A bateria de lítio possui a vantagem de alta resistência à memória elétrica e descargas profundas.

Ainda de acordo com RODRIGUES (2010), quanto maior a vida útil da bateria, mais viável é a tecnologia no que tange a custo de manutenção e impacto ambiental. A tabela 4.4 mostra a quantidade de vezes que a bateria pode ser carregada e descarregada. Além dos desafios de desempenho, existe também a necessidade de desenvolvimento de uma estrutura de recuperação e reciclagem das baterias. O chumbo, níquel e cádmio são tóxicos a saúde humana e ao meio ambiente, já a bateria de polímero de lítio tem menor impacto ao meio ambiente.

Tabela 4.4 – Comparação entre os tipos de baterias

Tipo de bateria	Tensão Nominal (V)	Energia específica (Wh/kg)	Densidade de energia (Wh/l)	Potência específica (W/kg)	Densidade Potencial (W/l)	Auto descarga (%/mês)	Ciclo de vida (carga/descarga)
Chumbo	2.0	35	70	~200	~400	4-8	250-1000
Lítio íon	3.6	115	260	20-250	400-500	5-10	500-1000
Lítio – polímero	3.0	100-200	150-350	>200	>350	~1	200-1000
Níquel Cádmio	1.2	40-60	60-100	140-220	220-350	10-20	300-700
Níquel metal	1.2	60	220	130	475	30	300-500
Ar zinco	1.2	146	204	150	190	~5	~200
Zebra	2.6	100	160	150	250	~1	~1000

Fonte: Shukla et al. (2000)

5. Conclusões

Atualmente, o tema de eficiência energética está presente em diversos setores da sociedade. Seja por redução de custos ou aumento de eficiência, estamos buscando novas maneiras de reduzir emissões de poluentes. Nesse contexto, os benefícios dos veículos híbridos são comprovados através da maior eficiência energética e consequente economia de combustível do que veículos movidos a motores de combustão interna, diminuindo assim as emissões de poluentes nos locais de utilização. Pela análise realizada, foi verificado que o Brasil tem um grande potencial e diversas oportunidades para a aplicação de veículos híbridos, tais como a poluição atmosférica, que é uma preocupação crescente. Além disso, o Brasil está entre os dez maiores mercados automotivos mundiais. Já existem no país programas de controle de emissões veiculares, que gradativamente vêm reduzindo as emissões máximas de poluentes permitidas. Como evolução natural, esses programas terão seus limites ainda mais reduzidos, de forma que serão necessárias tecnologias como a de veículos híbridos para atender os programas.

A popularização desses veículos apresenta vantagens em relação à utilização dos veículos movidos a motores de combustão interna. A maior eficiência desses veículos, conseguida através de tecnologias como frenagem regenerativa e utilização de motores elétricos compactos, tem como consequências diretas o menor consumo de combustível e a redução na emissão de poluentes. Dessa forma, mesmo com o maior custo de aquisição devido à nova tecnologia embarcada o investimento nesse tipo de veículo é compensado em longo prazo. Como efeito direto da popularização da tecnologia, os custos de desenvolvimento e produção devem ser reduzidos.

O país também já pratica incentivos tributários à venda de veículos novos, prática que pode ser verificada em diversos países. Além dos incentivos fiscais, pela análise realizada pode ser verificado que diversos países investem em infraestrutura para utilização e recarga desses veículos. Esses investimentos têm incentivado a popularização dos veículos híbridos nos países analisados. Grandes centros urbanos, como por exemplo Londres, têm metas de investimento em veículos híbridos para transporte público, cujo

objetivo principal é a melhoria da qualidade do ar. Esse tipo de política poderia ser aplicada no Brasil como forma de incentivo à popularização dos veículos híbridos, e futuramente aos veículos elétricos.

Porém, no cenário atual, diversos entraves políticos e econômicos fazem com que o progresso seja lento no Brasil. O grande desafio do país é resolver seus próprios problemas internos para que o setor automotivo possa investir em novas tecnologias, como os atuais veículos híbridos, e volte a apresentar bons resultados.

Como continuidade deste trabalho, tendo em vista o grande potencial do mercado brasileiro para a popularização dos veículos híbridos, é natural avaliar a aplicação deste tipo de veículo no território brasileiro, dadas as diferenças de clima, vias e aplicação entre diferentes regiões e estados da federação.

6. Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO – Consulta geral. Disponível em <<http://www.abve.org.br/>>. Acessado em 26/01/2017.

AUTOMOTIVE BUSINESS – Consulta referente ao automóvel brasileiro. Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/>>. Acessado em 23 de agosto de 2016.

BARAN, Renato; **A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

BOYD, Thomas Alvin – Professional Amateur: the Biography of Charles Franklin Kettering. 1957.

CONGRESS.GOV – Consulta geral. Disponível em <<https://www.congress.gov/>>. Acessado em 05 de Janeiro de 2017.

EDUCAÇÃO AUTOMOTIVA, Gases emitidos pelos veículos automotores. Disponível em <<https://educacaoautomotiva.com/>>. Acessado em: 03 de outubro de 2016.

EPA – United States Environmental Protection Agency, Consulta geral. Disponível em – <<http://www.epa.gov>>. Acessado em: 23 de setembro de 2016.

FLEURY, Paulo. **Logística no Brasil: Situação atual e transição para uma economia verde.** Disponível em: <www.fbds.org.br>. Acessado em: 30 de setembro de 2016.

FOCUS 2 MOVE, Dados de vendas de veículos novos. Disponível em <<http://focus2move.com/world-car-market/>>. Acessado em: 26 de janeiro de 2017.

HYBRIDVEHICLE.ORG, Primeiro veículo híbrido construído por Ferdinand Porsche. Disponível em <<http://www.hybrid-vehicle.org/>>. Acessado em 26 de agosto de 2016.

IMBASCIATI, H. **Estudo descritivo dos sistemas, subsistemas e componentes de veículos elétricos e híbridos**. Monografia. São Caetano do Sul, 2012.

IMPrensa Nacional – Casa Civil da Presidência da República – Consulta ao Diário Oficial da União. Disponível em: <<http://portal.imprensa nacional.gov.br/>>. Acessado em 26 de janeiro de 2017.

JÚNIOR, Edson B.; NEVES, Gustavo de S.; STOPPA; Marcelo H.; Veículos híbridos como oportunidade de eficiência logística. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 535.

LOCKTON, Daniel. **Motor Vehicles in the developing world: options for sustainability**. Disponível em: <<http://danlockton.co.uk/>>. Acessado em: 15 de agosto de 2016.

LONDON OFFICIAL PAGE, Consulta geral. Disponível em: <<https://www.london.gov.uk/>>. Acessado em: 11 de janeiro de 2017.

MERCADO COMUM, Consulta sobre o potencial do mercado brasileiro. Disponível em < <http://www.mercadocomum.com/>>. Acessado em: 22 de agosto de 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Dados do PROCONVE. Disponível em <www.mma.gov.br/>. Acessado em 26 de setembro de 2016.

MOREIRA, José R. et al.; **Veículos elétricos híbridos e a emissão de poluentes**. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/>>. Acessado em: 14 de outubro de 2016.

PETROBRÁS – PERGUNTAS FREQUENTES, Consulta geral. Disponível em: <<http://www.br.com.br/>>. Acessado em 12 de outubro de 2016.

PORTAL DO TRÂNSITO, Consulta a tecnologia de segurança para carros no Brasil. Disponível em <<http://portaldotransito.com.br/>>. Acessado em 18 de agosto de 2016.

QUEIROZ, Juliana de F. Q.; Introdução do Veículo Híbrido no Brasil: Avanço Tecnológico aliado à Qualidade de Vida. Disponível em: <<http://www.mecanica-poliusp.org.br/>>. Acessado em: 22 de setembro de 2016.

REVISTA QUATRO RODAS, Consulta à história de João Augusto Conrado do Amaral Gurgel. Disponível em: <<http://quatorrodas.abril.com.br/>>. Acessado em: 16 de setembro de 2016.

RODRIGUES, Rodrigo S.; **ANÁLISE DA TECNOLOGIA HÍBRIDA HIDRÁULICA PARA FROTA DE CAMINHÕES NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – ESTUDO DE CASO**. Dissertação de Mestrado São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.

ROMM, J.; FRANK, A. Hybrid vehicles gain traction. **Scientific American**, v. 294, n. 4, Apr. 2006.

SILVA, ALM; Direito do meio ambiente e dos recursos naturais. São Paulo, Revista dos Tribunais; 2006. v.3, p.85.

SILVA, João P. N.; **Avaliação de impactos da inserção dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP ESCELSA**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014.

SIMPSON, A. Cost-benefit analysis of *plug-in* hybrid electric vehicle technology. In: THE 22nd INTERNATIONAL BATTERY, HYBRID AND FUEL CELL ELECTRIC VEHICLE SYMPOSIUM AND EXIBITION, 2006, Yokohama, Japan. **Conference Paper NREL/CP-540-40485**. Yokohama: NREL, Oct. 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/oXdRSK>>. Acessado em: 11/01/2016.

SHUKLA.A.K. et al. **An appraisal of electric automobile power sources**. Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/>>. Acessado em 26 de Janeiro de 2017.

TRINDADE, Ivan M.; **MODELAGEM, CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL PARA UM VEÍCULO HÍBRIDO ELÉTRICO SÉRIE-PARALELO**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2016.

VAZ, Luiz F. H.; BARROS, Daniel C.; CASTRO, Bernardo H. R.; **Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento.** Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/>>. Acessado em: 22 de setembro de 2016.

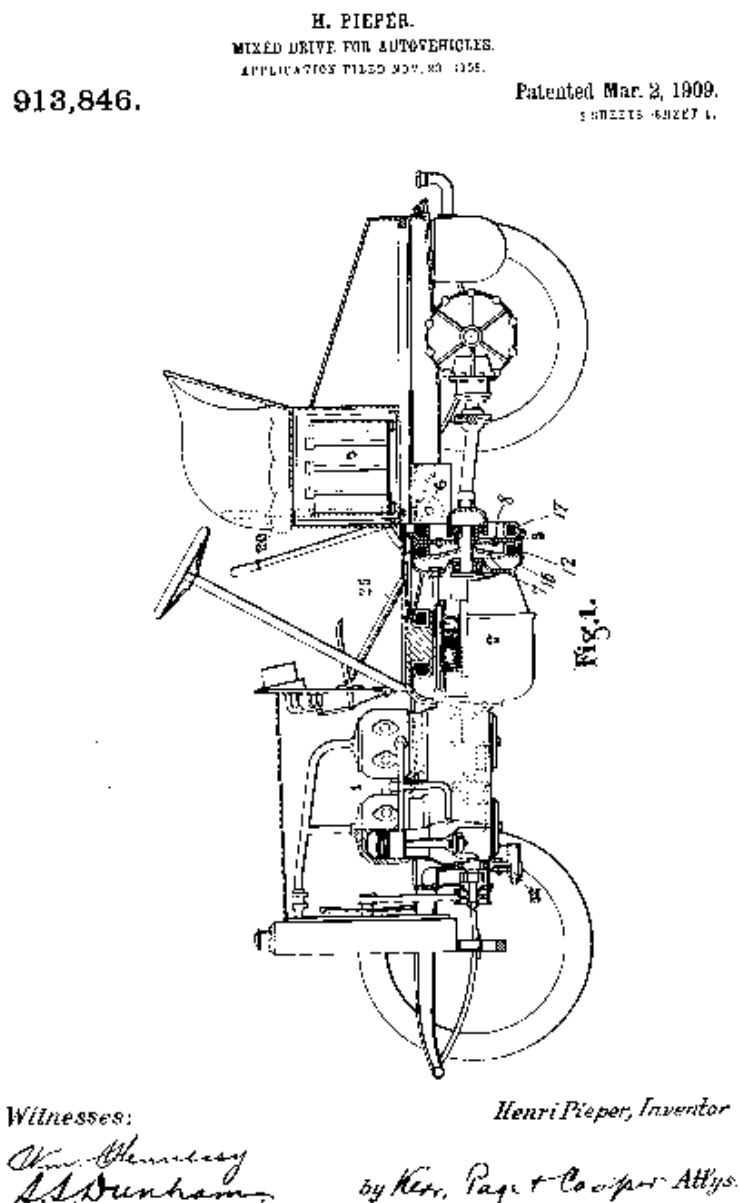
WORLD RESOURCES INSTITUTE, Dados de emissão de gases de efeito estufa e consulta geral. Disponível em <<http://www.wri.org>>. Acessado em 12 de setembro de 2016.

7. Anexos

7.1 Imagens de patente do veículo híbrido Henri-Pieper

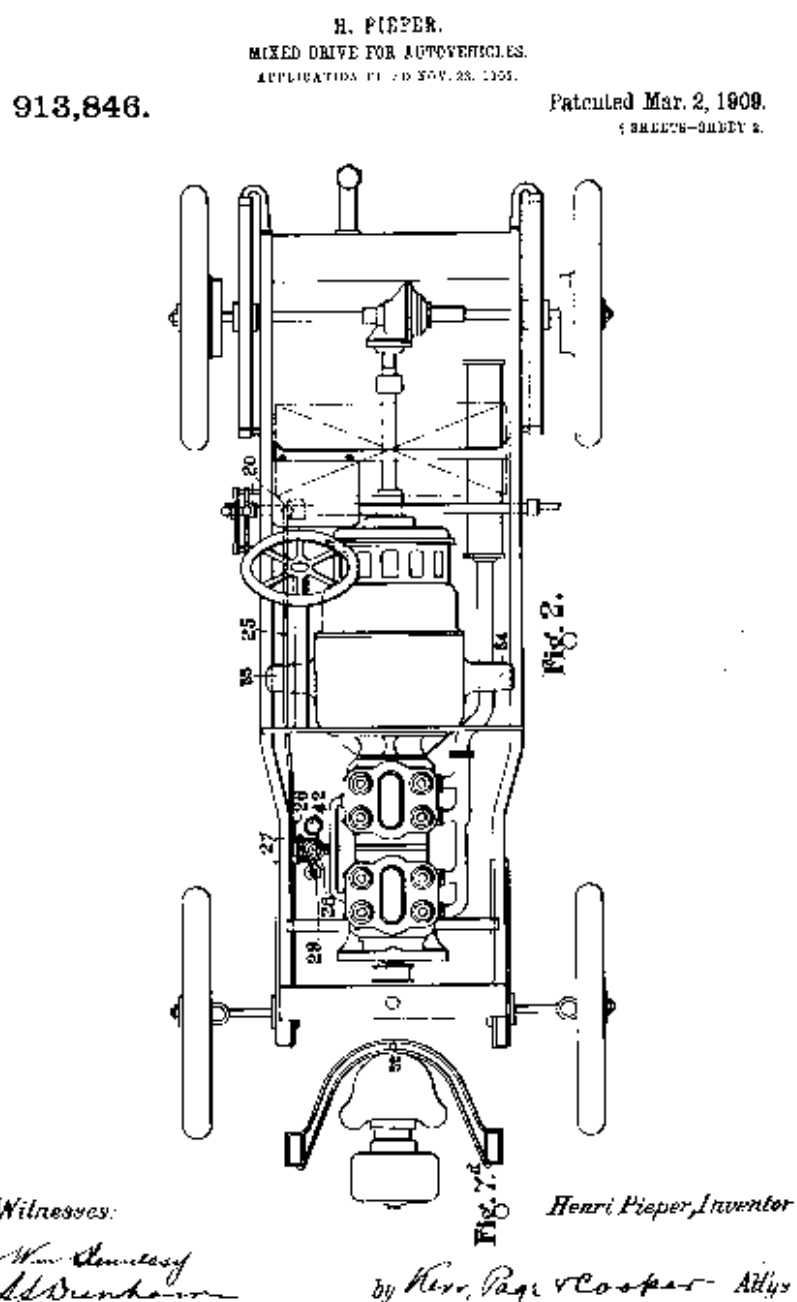
As figuras 7.1 a 7.5 abaixo mostram as imagens de patente do veículo híbrido Henri-Pieper

Figura 7.1 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper



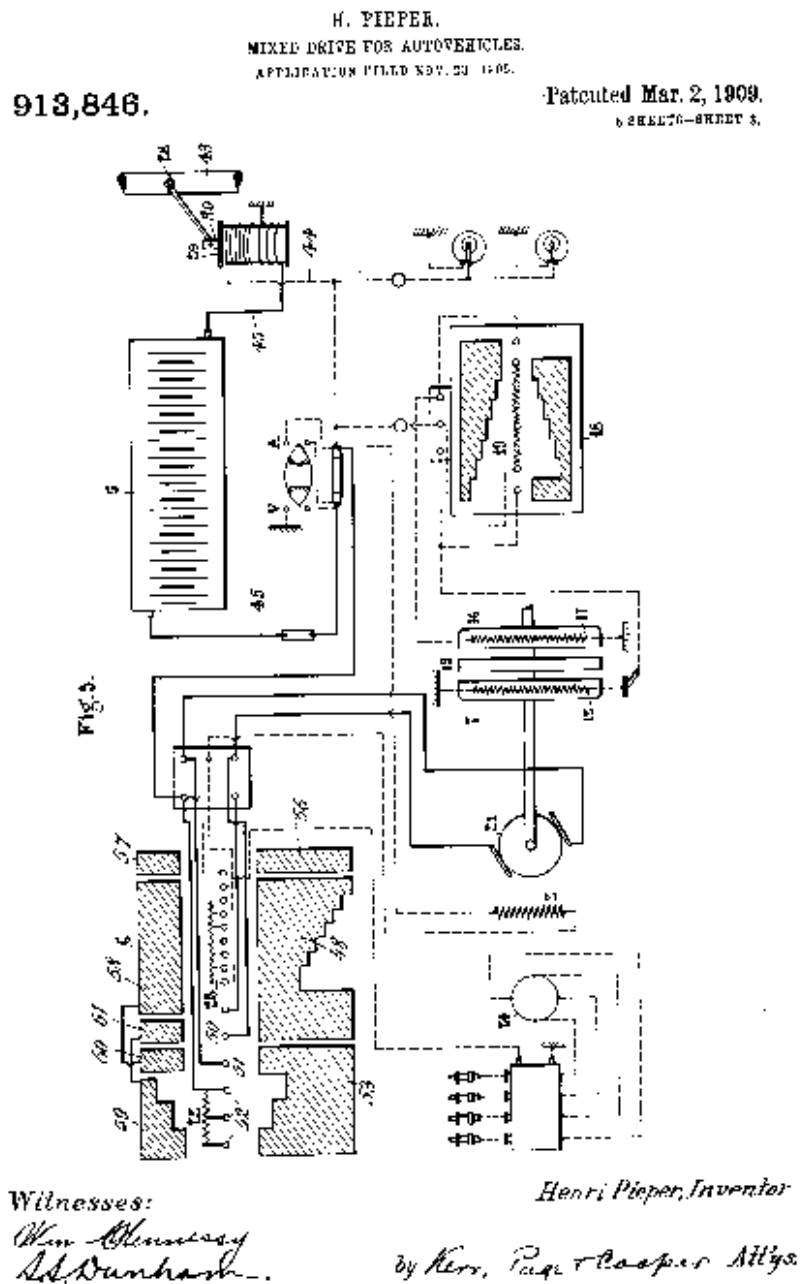
Fonte: <https://www.google.com/patents/US913846>, acessado em 05/11/2016.

Figura 7.2 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper



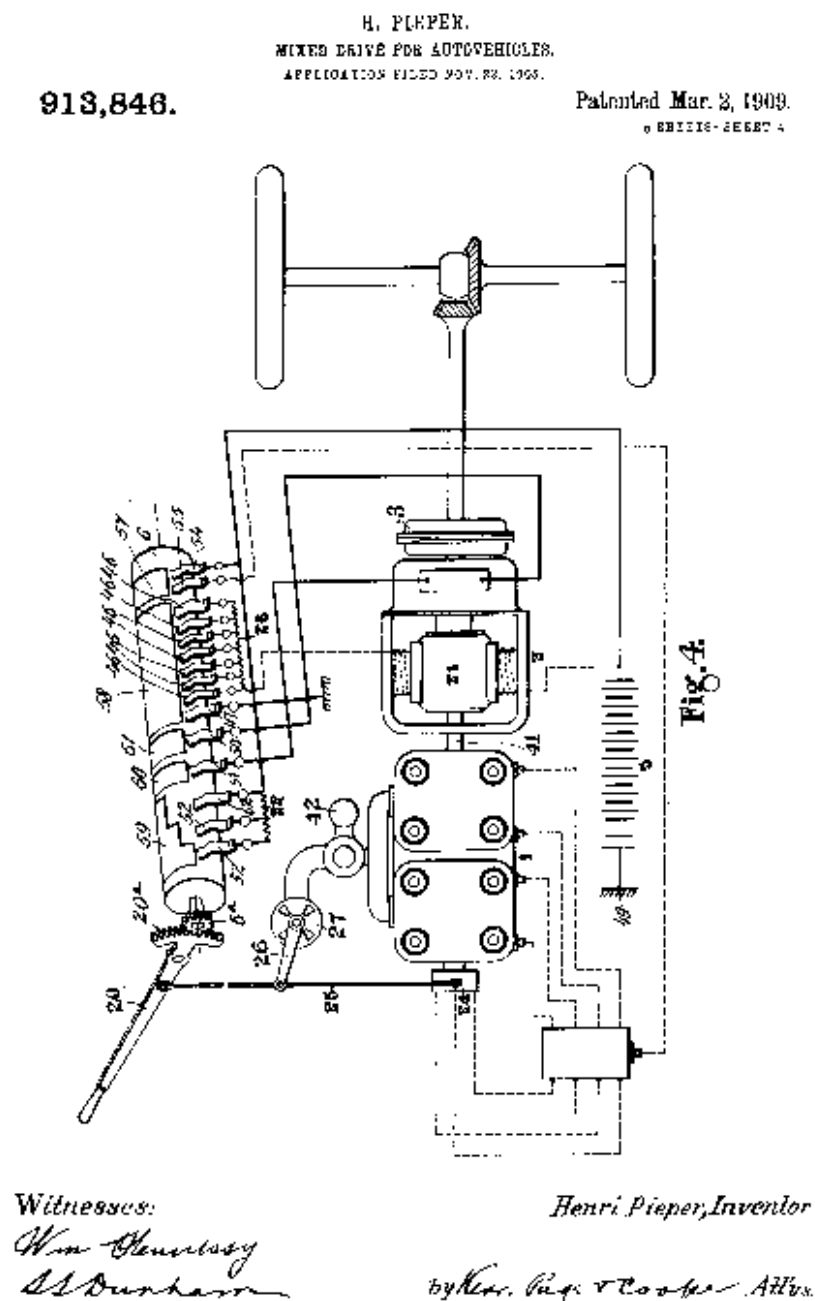
Fonte: <https://www.google.com/patents/US913846>, acessado em 05/11/2016.

Figura 7.3 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper



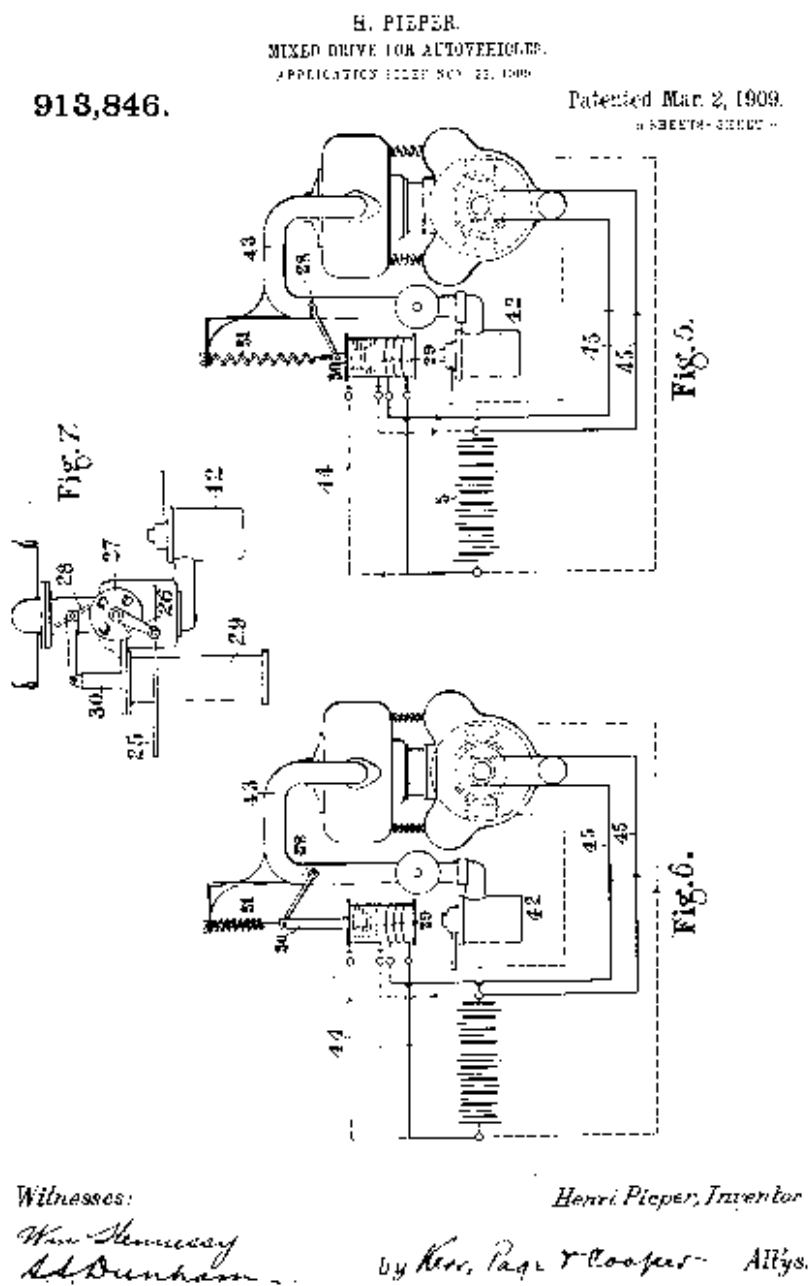
Fonte: <https://www.google.com/patents/US913846>, acessado em 05/11/2016.

Figura 7.4 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper



Fonte: <https://www.google.com/patents/US913846>, acessado em 05/11/2016.

Figura 7.5 – Imagem de patente do veículo híbrido de Henri-Pieper



Fonte: <https://www.google.com/patents/US913846>, acessado em 05/11/2016.