



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

VEÍCULOS ELÉTRICOS DE CARGA – UMA ANÁLISE DE SUA EVOLUÇÃO HISTÓRICA, PERFIL E POSSÍVEL UTILIZAÇÃO NO BRASIL

Fabiana do Couto Assumpção

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro
Setembro de 2016

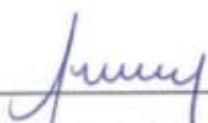
**VEÍCULOS ELÉTRICOS DE CARGA – UMA ANÁLISE DE SUA EVOLUÇÃO
HISTÓRICA, PERFIL E POSSÍVEL UTILIZAÇÃO NO BRASIL**

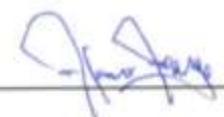
Fabiana do Couto Assumpção

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL

Examinado por:


Prof Marcio de Almeida D'Agosto, D. Sc.


Profª Cintia Machado de Oliveira,


Prof Afonso Augusto Magalhães de Araújo, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Setembro de 2016

Assumpção, Fabiana do Couto

Veículos elétricos de carga – Uma análise de sua evolução histórica, perfil e possível utilização no Brasil / Fabiana do Couto Assumpção – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

xiii, 50 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Curso de Engenharia Ambiental, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 46-50

1. Veículos elétricos de carga; 2 Alternativa tecnológica para transportes; 3. Transporte de cargas; 4. Veículo de emissões zero; I. D'Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Veículos elétricos de carga – Uma análise de sua evolução histórica, perfil e possível utilização no Brasil.

Agradecimentos

Agradeço e dedico este trabalho a Deus. Meu tudo! A Ele seja dada toda honra e glória! Se eu cheguei aonde cheguei, é pela mão dEle abrindo meus caminhos e colocando as pessoas certas ao meu lado.

Agradeço aos meus pais pelo suporte, pelas orações e por todo amor empregados durante não só o desenvolvimento deste trabalho e toda a faculdade, mas em toda a minha vida. Agradeço a minha família por ser fonte de amor, alegria e incentivo.

Agradeço ao Diego por tornar tudo mais leve, por me acalmar, me apoiar e sonhar comigo. Agradeço à minha terapeuta, Dra. Silvana D’Almeida que tem cuidado de mim e me feito crescer. Agradeço à minha liderança, os pastores André e Márcia por me cobrirem em oração. Agradeço às minhas discípulas por entenderem o meu momento. Obrigada por me escolherem e estarem comigo apesar das minhas dificuldades. Agradeço a Rayssa e Juliana, por cobrirem minhas faltas nos ensaios e pela amizade. Fico muito feliz de ver o que consegui passar pra vocês. Agradeço a todos meus amigos do Recreio que estiveram lá vivenciando meu vestibular e sofrimento na faculdade, principalmente a Aninha, Isabela, Beca, Tayara e Ana.

Agradeço aos colegas da Ambiental. Foi um enorme prazer seguir essa jornada com vocês. Agradeço a amizade, Erika, Bernardo, Ana, Vanessa, Kiki, Belle, Isabela, Nathalia, Juliana, Mariana, Mariane e Patrícia. Agradeço a todos os meus professores que generosamente me passaram seu conhecimento. Agradeço aos queridos colegas do Laboratório de Transporte de Cargas pelo apoio, ajuda e pelos ótimos momentos juntos. Gostaria de agradecer em especial à Lisia por todo o carinho que tem por mim e ao Daniel e Rafael pela amizade.

Agradeço ao Professor Márcio D’Agosto, o orientador deste trabalho, que me acolheu no LTC há 4 anos atrás e muito me ensinou desde então. Sou muito grata pela sua vida e pela sua generosidade em ensinar! Obrigada por estes 4 anos e por me orientar neste trabalho. Agradeço a Cintia, por todo conhecimento compartilhado desde as primeiras pesquisas sobre logística verde. Aprendi muito com você e sou muito grata por isso. Agradeço imensamente também à Professor Afonso por ter aceitado o convite em avaliar este trabalho.

Agradeço a todos que demonstraram carinho e incentivo à minha carreira profissional.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

VEÍCULOS ELÉTRICOS DE CARGA – UMA ANÁLISE DE SUA EVOLUÇÃO HISTÓRICA, PERFIL E POSSÍVEL UTILIZAÇÃO NO BRASIL

Fabiana do Couto Assumpção

Setembro/2016

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Curso: Engenharia Ambiental

O transporte de cargas é responsável por grande parcela das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor de transportes já que depende dos combustíveis fósseis e por ser uma atividade vital para o desenvolvimento econômico da sociedade. Por isso, o estudo da incorporação de veículos alternativos, tais como veículos elétricos, no transporte de cargas é de extrema relevância. Veículos elétricos à bateria, não emitem GEE, poluentes atmosféricos e ruídos pelo seu funcionamento. Além disso, o Brasil tem grande capacidade de produzir energia elétrica de origem renovável, reduzindo os impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida veículos elétricos. Objetiva-se com este estudo analisar a utilização de veículos elétricos de carga no transporte urbano de cargas no Brasil. Para tal, realiza-se uma contextualização do transporte de carga, do funcionamento de veículos elétricos, da origem e evolução ao longo dos anos dos veículos elétricos de carga e o perfil dos modelos atuais. Para o perfil atual, pretende-se identificar, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática, as características relacionadas à autonomia e consumo e o tipo de veículo apropriado por tipo de operação e em que países esta prática vem sendo explorada.

Palavras-chave: Veículos elétricos de carga; Alternativa tecnológica para transportes; Transporte urbano de cargas; Veículo de emissões zero;

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

FREIGHT ELECTRIC VEHICLES - AN ANALYSIS OF ITS HISTORICAL
EVOLUTION, PROFILE AND POSSIBLE USE IN BRAZIL

Fabiana do Couto Assumpção

September/2016

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Course: Environmental Engineering

The freight transport is responsible for a large portion of the emissions of greenhouse gases (GHG) from the transport sector as it depends on fossil fuels and for being a vital activity for the economic development of society. Therefore, the study of the incorporation of alternative vehicles such as electric vehicles in freight transport is extremely important. Electric vehicles do not emit greenhouse gases, air pollutants and noise for its operation. Besides, Brazil has a great capacity of production of electricity by clean energy sources, reducing environmental impacts considering the life cycle of electric vehicles. This study aims to analyse the use of battery electric vehicles in urban freight transport in Brazil. To achieve this goal, it carry out a characterization of the context in which these vehicles will be inserted, the peculiarities of its functioning, its origin and progress over the years and the profile of current models. For the current profile, it is intended to identify, through a systematic literature review, the features related to autonomy and consumption and the appropriate type of vehicle by type of operation and that this practice has been explored countries.

Keywords: Freight electric vehicles; Technological alternative for transport; Urban freight transport; Zero emission vehicle;

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Justificativa	2
1.3 Metodologia.....	3
1.4 Estrutura do trabalho.....	3
2. VEÍCULOS DE CARGA	5
2.1 Frota.....	5
2.2 Fontes de energia utilizadas pelos veículos de carga.....	7
2.3 Gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos.....	9
2.4 O Transporte Urbano de Cargas (TUC).....	10
3. OS VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	11
3.1 A tecnologia dos veículos elétricos	11
O Sistema de Propulsão Elétrico	13
3.1.1 As Baterias	15
3.1.2 Fonte energética.....	16
3.1.3	
3.2 Evolução histórica.....	18
3.2.1 Contexto mundial.....	19
3.2.2 Contexto brasileiro.....	26
4. PERFIL DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS DE CARGA	29
4.1 O procedimento da revisão bibliográfica sistemática	29
4.2 Aplicação do procedimento e resultados encontrados	30
4.2.1	
4.2.2 Atividade 1 – Planejamento.....	30
4.2.3 Atividade 2 – Realização	33
Atividade 3 – Comunicação e divulgação	36
4.3 Análise dos resultados encontrados	36
5. ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS DE CARGA	38
5.1 Os desafios quanto ao Mercado:	39
5.2 Os desafios quanto à Tecnologia:	41
5.3 Os desafios quanto à Infraestrutura:	42
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

Lista de Figuras

Figura 2.1 Frota de veículos de carga entre 1980 e 2012.....	6
Figura 2.2 Participação de veículos de carga em 2012.....	7
Figura 2.3 Frota de Comerciais Leves por combustível, em 2012.....	8
Figura 2.4 Consumo de biodiesel no Brasil, em litros.	9
Figura 2.5: Cadeia de Suprimentos	10
Figura.3.1: Modelo típico de caminhão elétrico <i>plug-in</i>	11
Figura 3.2 Veículo à pilha combustível.....	12
Figura 3.3 Caminhão elétrico com alimentação direta na rede elétrica.....	12
Figura 3.4 Esquema do sistema de propulsão elétrico <i>plug-in</i>	13
Figura 3.5: Matriz elétrica brasileira	17
Figura 3.6 Tipos de veículos rodoviários em 1899	20
Figura 3.7 Tipos de veículos rodoviários em 1904	21
Figura 3.8 Veículo elétrico de carga do começo do século	21
Figura 3.9 Eletrucks.....	24
Figura 3.10 Crescimento no licenciamento de veículos elétricos no Brasil.....	26
Figura 3.11 Daily elétrico.....	27
Figura 3.13 Motor e banco de baterias do Daily elétrico.	28
Figura 4.1 Procedimento adotado na identificação do perfil dos veículos elétricos de carga	30
Figura 4.2 Critérios deste estudo para identificação, seleção e inclusão dos trabalhos.	32

Figura 4.3 Proporção de artigos por etapa da revisão.....	33
Figura 4.4 Distribuição dos artigos selecionados por periódicos..	33
Figura 4.5 Distribuição dos artigos com base na abrangência temporal.	34
Figura 4.6 Distribuição dos artigos com base na abrangência geográfica.....	35

Lista de tabelas

Tabela 2.1 Categorias de veículos de carga.....	5
Tabela 2.2: Categorias da Frota de Veículos Pesados e suas características.....	5
Tabela 3.1 Vantagens e desvantagens de alternativas tecnológicas para o transporte rodoviário, em relação aos combustíveis convencionais.....	14
Tabela 3.2 Tipos de bateria, com suas respectivas densidades energéticas e energias específicas.....	16
Tabela 3.3 Propriedades do Daily elétrico.....	28
Tabela 4.1 Características dos veículos elétricos de carga pelo tipo de veículo.	35
Tabela 5.1 Limitações da utilização de veículos elétricos de carga	39

1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico proporcionou a intensificação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. O aumento das concentrações desses gases proporciona o agravamento do efeito estufa natural da Terra prejudicando a vida no planeta. Desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em 1972 em Estocolmo, o mundo passou a atentar para a questão ambiental, com ênfase nas emissões de GEE, buscando alternativas para minimizá-las nos diversos setores da economia.

Dentre esses setores, o setor de transportes se destaca em relação às demais atividades econômicas sendo o responsável por 9%, no Brasil, e 13%, no mundo, do total de GEE emitidos (MCT, 2004 e IPCC, 2007). Sendo o dióxido de carbono (CO₂) o principal gás de efeito estufa e referência para o cálculo das emissões de GEE, o setor de transportes emitiu 7,0 GtCO_{2eq} no mundo em 2012 (Sims *et al.*, 2014).

O consumo de energia pelo setor de transportes é feito, em grande parte, pela queima de combustíveis fósseis que gera GEE e poluentes atmosféricos locais. Da energia demandada por este setor no país, 41,6% destina-se ao transporte de carga, atividade vital para o desenvolvimento econômico da sociedade, realizada prioritariamente pelo modo rodoviário (EPE, 2012).

Em ambiente urbano, o transporte de cargas possui um papel fundamental para logística. O transporte urbano de cargas (TUC) é um dos principais causadores de impactos socioambientais que ameaçam a qualidade de vida das pessoas nas cidades e do meio ambiente, não só como a questão do efeito estufa, mas também como a redução da qualidade do ar pela emissão de outros gases que são poluentes atmosféricos, a promoção da poluição sonora e o aumento do risco de acidentes de trânsito (Suksri e Raicu, 2012).

Nesse contexto, estuda-se a utilização de fontes alternativas de energia para o TUC. Dentre as possíveis alternativas existentes, têm-se a possibilidade de utilização de energia elétrica em motores de veículos de carga já que esta não provoca emissão de gases e ruídos. Além disso, tendo em vista que, segundo o Balanço Energético Nacional de 2015 (EPE, 2015), a matriz elétrica brasileira é composta por 65,2% de energia hidráulica e há grande tendência de crescimento da capacidade instalada para os próximos anos de

energia eólica e solar, fontes limpas de energia, a utilização de energia elétrica no TUC poderia diminuir as emissões de GEE não só na operação, mas em todo ciclo de vida.

1.1 Objetivo

Tendo em vista que o modo rodoviário é o mais utilizado para o transporte de carga, no Brasil e no mundo, e que sua atividade acarreta danos ao meio ambiente e a sociedade, este estudo tem como objetivo geral analisar a utilização de veículos elétricos como alternativa tecnológica no transporte urbano de cargas no Brasil.

Os objetivos específicos podem ser assim enumerados:

- Contextualizar os veículos do transporte rodoviário de cargas no Brasil
- Identificar as particularidades da tecnologia utilizada em veículos elétricos
- Identificar a origem e a evolução ao longo dos anos de veículos elétricos com ênfase em veículos de carga
- Conhecer o perfil dos veículos elétricos de carga considerando a classe dos veículos, autonomia, consumo e operação indicada (coleta, distribuição ou transferência) para cada tipo de veículo.
- Identificar que países têm estudado o uso dessa tecnologia aplicada ao transporte de carga
- Analisar as características que podem influenciar na operação de veículos elétricos de carga no Brasil.

1.2 Justificativa

O modo rodoviário é o mais utilizado para o transporte de carga no Brasil e no mundo principalmente em ambiente urbano e se caracteriza por ser aquele que consome mais energia por quantidade de carga transportada (D'Agosto, 2015), sendo, portanto, responsável por grande parte da emissão de GEE para a atmosfera. Por isso, o estudo da incorporação, no TUC, de veículos elétricos, reduzindo o consumo de energia por esta atividade e suas emissões de poluentes atmosféricos e GEE, é de extrema relevância. Além disso, esses veículos podem contribuir para um ambiente urbano mais agradável, já que não emitem gases e ruídos. Adicionalmente, o uso de energia elétrica em veículos de

carga substituiria parcialmente o consumo de combustíveis fósseis já que o Brasil tem uma matriz elétrica majoritariamente renovável.

1.3 Metodologia

Para caracterizar o contexto brasileiro dos veículos de carga, as peculiaridades de do funcionamento de veículos elétricos de carga e sua evolução ao longo dos anos, foi feita uma revisão bibliográfica narrativa na qual se utilizou artigos científicos, relatórios nacionais e internacionais e livros com o conteúdo específico demandado.

Para conhecer o perfil atual dos veículos elétricos de carga, em que países e como esta tecnologia já é aplicada, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática. Segundo Bereton *et al.* (2007), o uso de procedimentos sistemáticos diminui a possibilidade de erros e, conseqüentemente, aumenta a confiabilidade dos resultados. A etapa de realização da revisão bibliográfica sistemática consiste na identificação e seleção dos trabalhos, avaliação dos trabalhos selecionados, extração e síntese de dados e comunicação e divulgação da pesquisa. O procedimento utilizado será apresentado no capítulo 4.

Para analisar a utilização de veículos elétricos de carga no transporte urbano de cargas no Brasil, consideraram-se as informações extraídas de uma análise de cada capítulo agrupando os desafios dessa utilização quanto aos seguintes parâmetros: custo, mercado, tecnologia e infraestrutura.

1.4 Estrutura do trabalho

A partir desta introdução, este trabalho se divide em 6 capítulos. O Capítulo 2 contempla o contexto brasileiro atual do transporte rodoviário de cargas, no qual são consideradas a divisão da frota em função do peso bruto total dos veículos, as fontes de energia convencionais, os impactos ao meio ambiente causados pela utilização de veículos convencionais e as características gerais do transporte urbano de cargas.

O Capítulo 3 compreende o funcionamento dos veículos elétricos, as baterias, a fonte energética e a evolução histórica desses veículos nos contextos mundial e brasileiro.

O Capítulo 4 apresenta o procedimento sistemático e sua aplicação para identificar o perfil atual dos veículos elétricos de carga. Também é apresentada a análise dos principais resultados obtidos com os dados extraídos da revisão bibliográfica sistemática.

O Capítulo 5 expõe a análise para a utilização dos veículos elétricos no transporte urbano de cargas brasileiro baseada no conhecimento agregado nos capítulos anteriores.

No Capítulo 6 constam as conclusões desta pesquisa, limitações encontradas e recomendações para futuros trabalhos.

2. VEÍCULOS DE CARGA

Antes de conhecer melhor os veículos elétricos de carga, é necessário entender o contexto em que serão inseridos. Este capítulo apresenta, portanto, o contexto brasileiro dos veículos do transporte rodoviário de cargas no que se refere à frota, fontes energéticas, impactos ao meio ambiente e aplicação nas cadeias de suprimentos.

2.1 Frota

No Brasil, há diferentes divisões para a frota de veículos de carga. A divisão escolhida para basear este estudo é a utilizada no 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, realizado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2013 (MMA, 2013) e também pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea).

Segundo esta divisão, os veículos de carga são separados com base no peso bruto total (PBT) em: comercial leve (menor que 3,5 toneladas), caminhão semileve (de 3,5 a 6 toneladas), caminhão leve (de 6 a 10 toneladas), caminhão médio (de 10 a 15 toneladas), caminhão semipesados (de 15 a 40 toneladas) e caminhão pesado (maior que 40 toneladas) (MMA, 2013). A tabela 2.1 apresenta as características dos veículos de carga por categoria do veículo, seu PBT, os tipos de motor convencionalmente utilizados, seus respectivos combustíveis, e a definição sobre esses veículos quanto à utilização.

Tabela 2.1 Categorias de veículos de carga

Categoria	Peso Bruto Total (PBT)	Motor	Combustível	Definição
Comerciais Leves	(PBT \leq 3,5t)	Ciclo Otto	Gasolina C	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga com PBT de até 3.500 kg.
			Etanol Hidratado	
<i>Flex Fuel</i>				
Ciclo Diesel	Diesel			
Caminhões Semileves	(3,5t < PBT < 6t)	Ciclo Diesel	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e PBT superior a 3.500 kg
Caminhões Leves	(6t \leq PBT < 10t)	Ciclo Diesel	Diesel	
Caminhões Médios	(10t \leq PBT < 15t)	Ciclo Diesel	Diesel	
Caminhões Semipesados	(15t \leq PBT < 40t)	Ciclo Diesel	Diesel	
Caminhões Pesados	(PBT \geq 40 t)	Ciclo Diesel	Diesel	

Tabela 2.2: Categorias da Frota de Veículos Pesados e suas características.

Fonte: Adaptado de MME (2011) e MME (2013).

Segundo MMA (2013), a frota brasileira de veículos de carga vem crescendo constantemente, desde 1980, com um aumento expressivo desde 2000. A Figura 2.1 traz este crescimento da frota brasileira de veículos de carga entre 1980 e 2012.

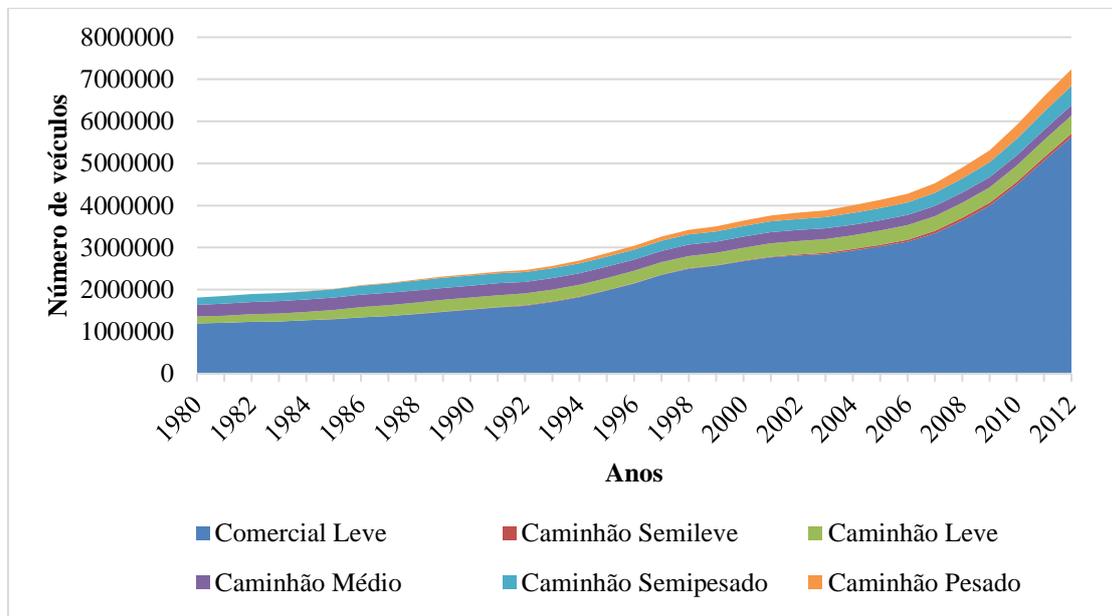


Figura 2.1 Frota de veículos de carga entre 1980 e 2012.

Fonte: Elaboração própria, com base em MMA (2013).

Destaca-se o crescimento expressivo dos veículos do tipo comercial leve proporcionalmente em relação ao restante da frota ao longo dos anos. Além disso, verifica-se o surgimento da categoria caminhão pesado no final de década de 1980 e sua expansão desde então.

Em 2012, o número de veículos rodoviários de carga atingiu um valor próximo a 7 milhões, dos quais 77,8 % são veículos do tipo comercial leve e 22,2% são caminhões. E da frota de caminhões de 2012, os semileves representaram cerca de 5,1%, os leves, 26,5%, os médios responderam por 15,2%, os semipesados, 28,7% e os pesados 24,5%, (MMA, 2013). A Figura 2.2 mostra esta participação de veículos de carga em 2012.

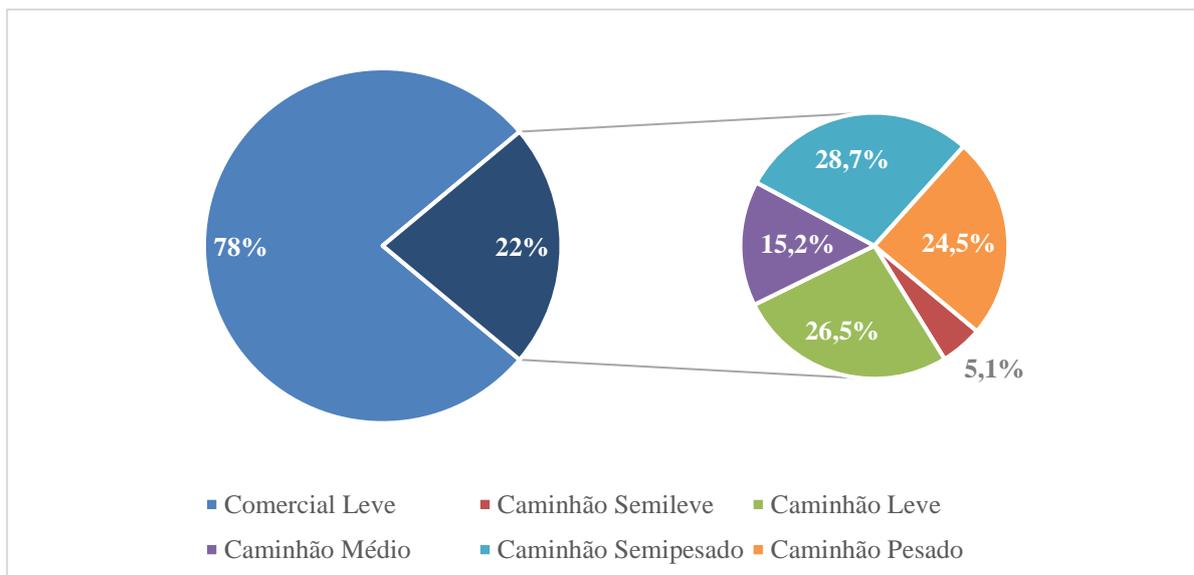


Figura 2.2 Participação de veículos de carga em 2012

Fonte: Elaboração própria, com base em MMA (2013).

2.2 Fontes de energia utilizadas pelos veículos de carga

Segundo D'Agosto (2015), fontes convencionais de energia são aquelas utilizadas na maior parte da frota de veículos de uma região e, considerando o transporte rodoviário, as fontes convencionais de energia são a gasolina e o óleo diesel, combustíveis de origem fóssil.

A frota mundial de veículos rodoviários é composta quase que completamente por veículos convencionais. Estes veículos são equipados com motor de combustão interna e sistema de transmissão mecânico. Segundo Bosch (2004), há dois tipos de motores: motores do ciclo Otto, que utilizam gasolina e/ou etanol hidratado com ignição por centelhamento; e motores do ciclo Diesel que utilizam óleo diesel com ignição por compressão. Os motores de combustão interna convertem ciclicamente a energia química contida no combustível em calor por meio de uma reação de combustão dentro do cilindro, a energia aumenta então a pressão do meio, que realiza o trabalho na medida em o pistão que se expande (Bosch, 2004). Nesta combustão, enquanto o oxigênio é consumido pela queima de combustível há liberação de GEE e poluentes atmosféricos.

No Brasil, há participação significativa do etanol, biocombustível líquido derivado de biomassa renovável, que tem como principal componente o álcool etílico (Lei Federal nº 12.490, de 16/9/2011), cuja principal matéria-prima é a cana-de-açúcar. Ele

pode ser utilizado diretamente ou mediante alterações em motores à combustão interna de ciclo Otto. Há dois tipos de etanol produzidos no Brasil conforme especificação da ANP (Resolução ANP nº 7, de 9/2/2011): o etanol hidratado, com até 7,4% de água, combustível destinado à venda no posto de combustível, para o consumidor final e o etanol anidro, combustível destinado ao distribuidor na mistura com gasolina A para a formulação da gasolina a ser vendida ao consumidor. De acordo com a Portaria nº 75 de 5 de março de 2015, utiliza-se 27% de etanol anidro na gasolina comum e 25% na gasolina *premium*.

Como visto no item 2.1 deste estudo, apenas os veículos do tipo comercial leve utilizam combustíveis diferentes de óleo diesel no transporte rodoviário de cargas. Além de óleo diesel, estes veículos podem ser produzidos para ter abastecimento exclusivamente com gasolina ou etanol hidratado ou na versão *flexible fuel (flex fuel)*, podendo receber ambos os combustíveis em qualquer proporção. A Figura 2.3 apresenta a frota brasileira do tipo comercial leve por combustível. Comercializados a partir de 2003, os veículos *flex fuel* já respondem por 38% da participação, enquanto os veículos à gasolina alcançam 33%, a diesel, 27 % e a etanol hidratado, apenas 2%.

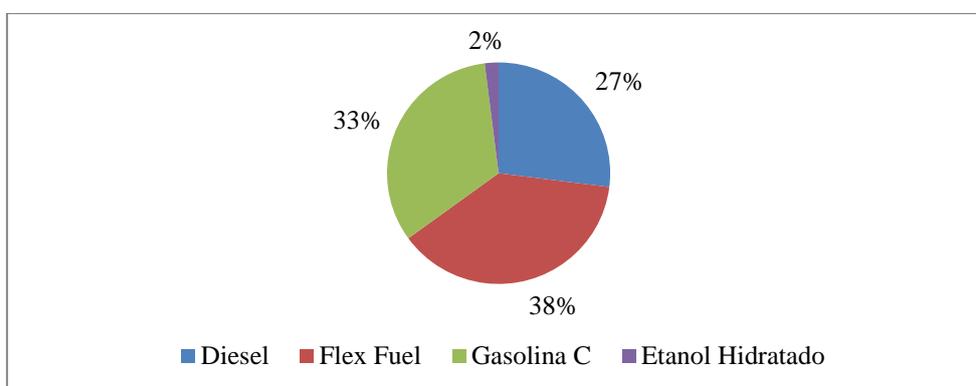


Figura 2.3 Frota de Comerciais Leves por combustível, em 2012.

Fonte: Adaptado de MMA (2013)

No Brasil, o óleo diesel apresenta um teor de 7%, de biodiesel, estabelecido pela Lei nº 13.033/2014. Biodiesel é o óleo obtido a partir de biomassa oleaginosa (Resolução ANP nº 50, de 23/12/2013), utiliza-se principalmente a soja para esta finalidade no país.

A porcentagem de mistura do biodiesel no óleo diesel teve um aumento gradual e proporcionando um grande crescimento na produção desse biocombustível no país. A

Figura 2.4 apresenta aumento do consumo de biodiesel no Brasil, decorrente do incremento de sua porcentagem no diesel, entre 2007 e 2012.

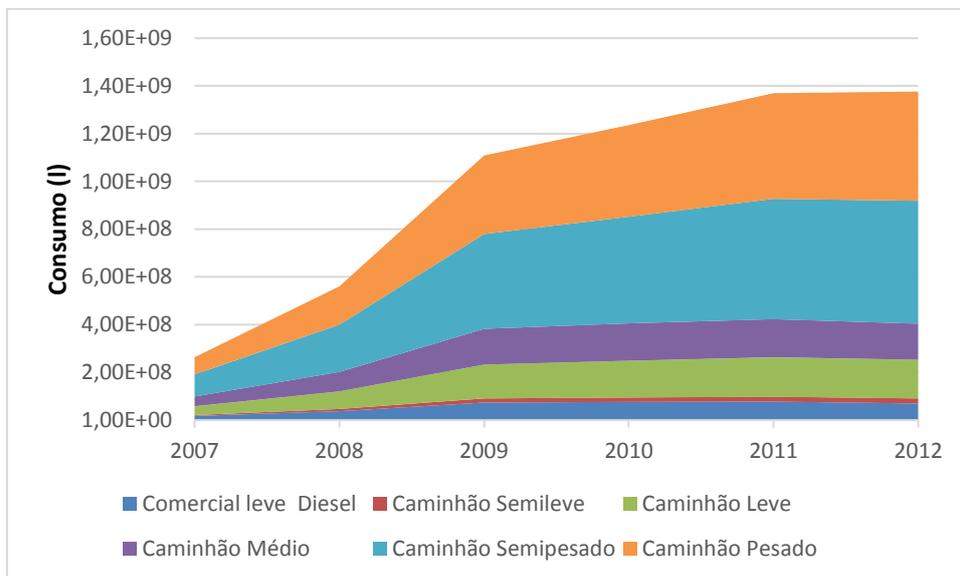


Figura 2.4 Consumo de biodiesel no Brasil, em litros.

Fonte: MMA, 3013

2.3 Gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos

A queima de combustíveis líquidos é responsável pela produção de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos. Os GEE provocam o agravamento do efeito estufa cujo impacto tem alcance global. Já os poluentes atmosféricos causam principalmente a deterioração da qualidade do ar urbano e, conseqüentemente, da saúde humana. Mesmo o etanol sendo um combustível produzido a partir de biomassa, sua queima emite gases, que podem ser compensados considerando seu ciclo-de-vida, mas trazem impacto à qualidade do ar em centros urbanos.

O 1º e o 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011; e MMA, 2013) consideram as substâncias dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), aldeídos (RCHO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP). As emissões podem ser de escape, originadas da queima de combustível do motor ligado, ou por evaporação do combustível de partes do sistema de propulsão, quando o veículo está em uso ou em repouso (Faiz *et al.*, 1996).

Segundo Souza *et al.*, (2013), veículos equipados com motores ciclo Otto, com exceção de veículos *flex fuel*, tem fatores de emissão de CO e de HC, superiores a veículos equipados com motores ciclo Diesel. Já os veículos com motor ciclo Diesel têm fatores de emissão de NO_x e MP mais elevados do que os veículos com motor ciclo Otto (Faiz *et al.*, 1996). As emissões de aldeídos (RCHO) estão relacionadas ao uso do etanol tanto hidratado, quanto anidro.

2.4 O Transporte Urbano de Cargas (TUC)

O transporte urbano de carga (TUC) tem grande importância no progresso das cidades em todo o mundo, com ênfase para países em desenvolvimento (Ibeas *et al.*, 2012). Devido à grande concentração populacional em áreas urbanas, há uma maior demanda por transporte nessas regiões (Allen *et al.*, 2008).

O transporte de cargas tem a função de abastecer polos produtores e cidades, sendo fundamental para sustentar o estilo de vida da população. Além disso, desempenha um papel importante nos custos logísticos das empresas, podendo atuar de forma estratégica em sua cadeia de suprimentos (Anderson *et al.*, 2015).

Segundo Ballou (2001), a cadeia de suprimentos se divide em dois canais: o canal de suprimentos, que considera o transporte da matéria-prima até a indústria; e o canal de distribuição física, envolve coleta, transferência e distribuição. A Figura 2.5 ilustra uma cadeia de suprimentos.

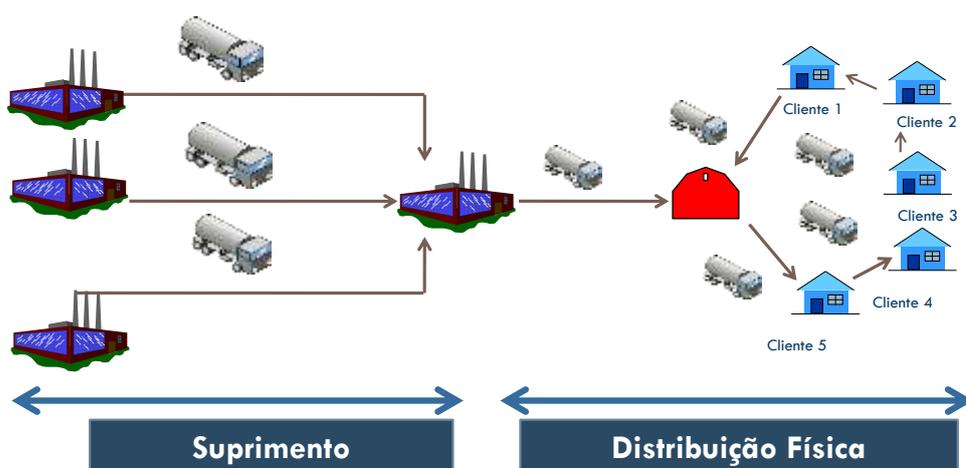


Figura 2.5: Cadeia de Suprimentos

Fonte: Ballou, 2001

3. OS VEÍCULOS ELÉTRICOS

No capítulo anterior, foram discutidas as fontes energéticas convencionais para o transporte de carga e os danos ambientais causados pelo seu uso. A eletricidade será apresentada neste capítulo como fonte alternativa de energia limpa para os veículos de carga. Este capítulo trata do funcionamento dos veículos elétricos em geral e sua evolução histórica com ênfase em veículos de transporte de cargas para melhor compreensão da tecnologia que se propõe como alternativa.

3.1 A tecnologia dos veículos elétricos

O foco deste estudo é veículos elétricos do modo rodoviário. Segundo D'Agosto (2015), há três tipos de veículo elétrico rodoviário:

- O veículo elétrico à bateria (*Battery Electric Vehicle* – BEV), também chamado de veículo elétrico *plug-in*, é caracterizado por possuir um sistema de propulsão elétrico alimentado por energia da rede elétrica. Esta energia fica armazenada num acumulador, bateria eletroquímica, localizado no próprio veículo. A Figura 3.1 ilustra um típico veículo rodoviário de carga elétrico à bateria.



Figura.3.1: Modelo típico de caminhão elétrico *plug-in*

Fonte: Auto green mag (2016)

- Um veículo elétrico a célula combustível converte a energia química de um combustível, como o hidrogênio, em energia elétrica. A Figura 3.2 apresenta um modelo.



Figura 3.2 Veículo à pilha combustível

Fonte: Renault Trucks Deliver (2016)

- Há ainda veículos que possuem alimentação direta pela rede elétrica, fazendo com que o veículo se mantenha ligado à ela, não possuindo estoque de energia em quantidade suficiente em acumuladores internos ao veículo, como ilustrado na Figura 3.3.



Figura 3.3 Caminhão elétrico com alimentação direta na rede elétrica

Fonte: Charged Electric Vehicles magazine

O presente trabalho estuda apenas os veículos elétricos à bateria.

O Sistema de Propulsão Elétrico

Os veículos exclusivamente elétricos funcionam com apenas um sistema de propulsão elétrico, já os veículos híbridos combinam dois ou mais sistemas de propulsão, sendo que, na maioria das vezes, um deles é elétrico (Bosch, 2004).

Segundo D'Agosto (2015), um sistema de propulsão elétrico (SPE) é composto por um motor elétrico de tração e um sistema de transmissão mecânico. O veículo receberá a energia por meio de uma ligação *plug-in*, que fornecerá energia a um controlador. Este controlador transfere a energia para um banco de baterias, que irá armazená-la. Quando o veículo for acionado, o banco de baterias envia energia ao controlador que regula a quantidade de energia necessária a ser enviada ao motor elétrico. O motor elétrico transforma a energia elétrica em energia mecânica, que passará para as rodas, mediante o sistema de transmissão. Num veículo convencional, a desaceleração, provocada pela ação dos freios, gera calor e ruído, que é perdido na atmosfera. Todavia, um veículo elétrico é capaz de recuperar esta energia por meio da frenagem regenerativa e reenviá-la ao banco de baterias, que poderá voltar a fornecê-la ao motor. A Figura 3.4, abaixo, esquematiza esta descrição.

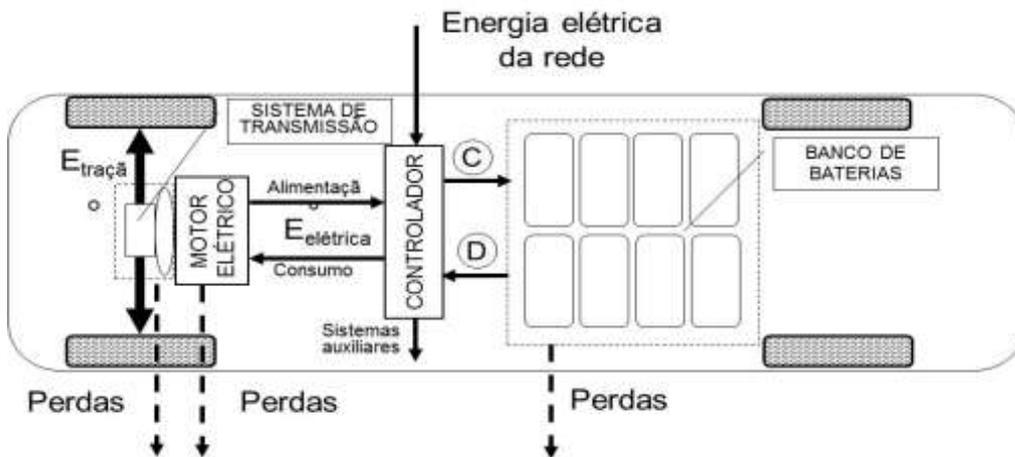


Figura 3.4 Esquema do sistema de propulsão elétrico *plug-in*.

Legendas: C - carga; D - descarga; $E_{elétrica}$ - energia elétrica; $E_{tração}$ - energia mecânica disponível no eixo de tração;

Fonte: D'Agosto, 2015.

Há perdas de energia na armazenagem, na transformação e na transferência de energia. No entanto, o SPE, ainda é caracterizado pela alta eficiência em comparação com

um sistema de propulsão convencional. Seu motor é silencioso, não produz ruído algum. É possível ainda perceber que no SPE não há saída de gases.

Iwan *et. al.*, (2014), apresentam algumas vantagens e desvantagens das alternativas tecnológicas ao uso de veículos rodoviários convencionais mais conhecidas. Sendo assim, é possível compará-las e perceber que a propulsão elétrica é vantajosa, em relação aos aspectos ambientais e sociais, conforme compilado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 Vantagens e desvantagens de alternativas tecnológicas para o transporte rodoviário, em relação aos combustíveis convencionais

Alternativa	Vantagens	Desvantagens
Propulsão a gás	<ul style="list-style-type: none"> • Redução na emissão de GEE; • Redução na poluição sonora; 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do consumo de combustível; • Pode acumular embaixo do veículo em caso de vazamento
Biocombustível	<ul style="list-style-type: none"> • Independência do petróleo; 	<ul style="list-style-type: none"> • Equilíbrio energético desfavorável, comparado ao petróleo, o etanol, por exemplo, fornece 2/3 da energia que o petróleo pode oferecer; • Degradação do meio ambiente para o aumento de áreas de cultivo; • Competição pelas áreas com o cultivo de alimentos;
Propulsão híbrida	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do consumo de combustível; • Redução da emissão de poluentes atmosféricos; • Redução na poluição sonora; 	<ul style="list-style-type: none"> • Grande peso e dimensões dos veículos, devido à estrutura sofisticada e ao peso da bateria; • Alto preço de aquisição;
Célula combustível	<ul style="list-style-type: none"> • Emissão apenas de vapor d'água; • Recursos naturais de hidrogênio praticamente ilimitados; 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldades em manter o hidrogênio no estado líquido no tanque; • Risco de acidente, pois o vazamento de hidrogênio faz uma mistura explosiva com o ar; • Falta de infraestrutura para fornecimento de hidrogênio na maioria dos países;
Propulsão elétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminação de componentes pesados, como a caixa de câmbio e embreagem; • Não emite gases em seu funcionamento; • Redução quase que total da poluição sonora; • Fácil de operar; • Pode ser carregado em uma tomada elétrica de fácil instalação; 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto tempo de recarga da bateria; • Grande peso da bateria; • Alto preço de aquisição, principalmente no caso de baterias com melhores parâmetros de carregamento, que requerem menor tempo para carregar; • Baixa autonomia em quilômetros; • Baixo limite de velocidade

Fonte: Adaptado de Iwan *et. al.*, 2014.

As Baterias

A bateria automotiva é um acumulador elétrico que concentra energia química que, posteriormente, será convertida em energia elétrica (Bosh, 2004). Boer (2013) indica como principais parâmetros de avaliação das baterias a vida útil, o tempo de carregamento, a densidade energética e a energia específica.

A vida útil é baseada no número de ciclos de recarga que uma determinada bateria é capaz de suportar. Quanto maior a vida útil da bateria melhor, pois esta precisará ser trocada num número menor de vezes. A tendência geral é a otimização da bateria sendo ela dimensionada de tal forma a evitar sua substituição.

O tempo de carregamento é o tempo que uma bateria completamente descarregada leva para ser totalmente recarregada. Quanto menor o tempo de carregamento melhor, pois o veículo precisará ficar menos tempo parado. Veículos elétricos apresentam um tempo de carregamento muito alto em relação ao tempo de abastecimento de um veículo convencional, sendo esta uma desvantagem considerável dos veículos elétricos.

A densidade energética é a energia armazenada por unidade de volume da bateria. Quanto maior a densidade energética, melhor, pois haverá um uso de menores células ou quantidades de células nos veículos, reduzindo o espaço do banco de baterias e aumentando, possivelmente o espaço para as cargas.

Já a energia específica é a energia armazenada por unidade de massa. Em termos de energia específica, as baterias de veículos elétricos apresentam números muito inferiores às utilizadas nos combustíveis convencionais. No entanto, uma vez que os veículos elétricos são mais eficientes do que os veículos convencionais, esta grande diferença em termos de energia específica acaba sendo compensada. Quanto maior a energia específica, melhor, pois a defasagem para os veículos convencionais fica cada vez menor.

Portanto, para que o veículo elétrico obtenha melhor desempenho, utiliza-se baterias com maiores valores de densidade energética e energia específica. A Tabela 3.2, apresenta alguns tipos distintos de bateria pelos materiais que as compõem e suas respectivas densidades energéticas e energias específicas.

Tabela 3.2 Tipos de bateria, com suas respectivas densidades energéticas e energias específicas

Tipo do Material da Bateria	Densidade Energética (Wh/l)	Energia Específica (Wh/kg)
Chumbo-ácido	50-82	18-56
Níquel-ferro	60-115	39-70
Níquel-cádmio	60-115	33-70
Níquel-hidreto metálico	152-215	54-80
Sódio-enxofre	76-120	80-140
Sódio-cloreto de níquel	160	100
Polímero de lítio	100-120	150

Fonte: Adaptado de D'Agosto, (2015).

Atualmente, a maioria dos veículos leva uma bateria de íon de lítio (Li-Íon). A operação básica ocorre em descarga pelo lítio ionizado fluindo do anodo (polo positivo feito a partir do terminal de lítio incorporado em materiais à base de carbono, geralmente grafite), para o eletrólito (composto de sais de lítio em solventes orgânicos), através de um separador de plástico (uma membrana micro porosa) e, em seguida, para o catodo (polo negativo feito de óxido de metal de lítio ou de fosfato). A maior parte do peso de veículos elétricos vem de suas baterias, por sua composição com grande quantidade de metais. Quanto mais baterias se utilizam, a fim de aumentar a autonomia do veículo, há perda na capacidade de carga, ocasionada pelo peso desta bateria. No entanto, a ausência de partes do veículo convencional, tais como a caixa de velocidades, além do fato do motor ser mais leve, compensam parcialmente a diferença na tara dos veículos, com um peso adicional líquido de cerca de 600 kg (Boer, 2013).

De acordo com Boer (2013), as baterias para automóveis e caminhões elétricos são as mesmas, porém a quantidade de células é maior no caso de caminhões. Em um veículo 100% elétrico, a bateria é o principal componente do SPE e torna-se parte significativa do custo total do veículo e, consequentemente no preço de venda.

Fonte energética

No Brasil, cerca de 32,5% do consumo final de energia está relacionado ao setor de transportes sendo que o consumo de energia pelos transportes é feito, em grande parte, 81%, na forma de queima de combustíveis fósseis (EPE, 2015). E da energia demandada pelo setor de transportes, 41,6% destinam-se ao transporte de carga, atividade vital para o desenvolvimento econômico da sociedade, realizada, prioritariamente, pelo modo rodoviário (EPE, 2012). E, como visto no item 2.2, as fontes convencionais de energia

para o transporte rodoviário, em todo o mundo, têm sido a gasolina e o óleo diesel, combustíveis derivados de petróleo.

Entretanto, a energia elétrica, segundo D'Agosto (2015), pode ser considerada como uma fonte alternativa de energia para transportes. A energia elétrica pode ser proveniente de diversas fontes, como a nuclear, a fóssil (como o petróleo, carvão e o gás natural) e renovável (como a eólica, solar, geotérmica e a hidrelétrica). Estas fontes primárias são convertidas em eletricidade, uma fonte de energia secundária, que flui através de linhas de energia e outras infraestruturas de transmissão até seu destino final.

Como visto no item 3.1.1, os veículos elétricos não produzem gases de efeito estufa, GEE, nem poluentes atmosféricos, em sua atividade (uso final da energia), no entanto, é necessário atentar para a origem da energia elétrica que o abastece. Para que o uso de veículos elétricos possa ser considerado uma alternativa ambientalmente sustentável, é necessário que a fonte da qual a energia elétrica se origina seja renovável (Thomas, 2012).

A matriz elétrica brasileira é composta, em sua maioria, por fontes renováveis de energia, conforme a Figura 3.5 ilustra.

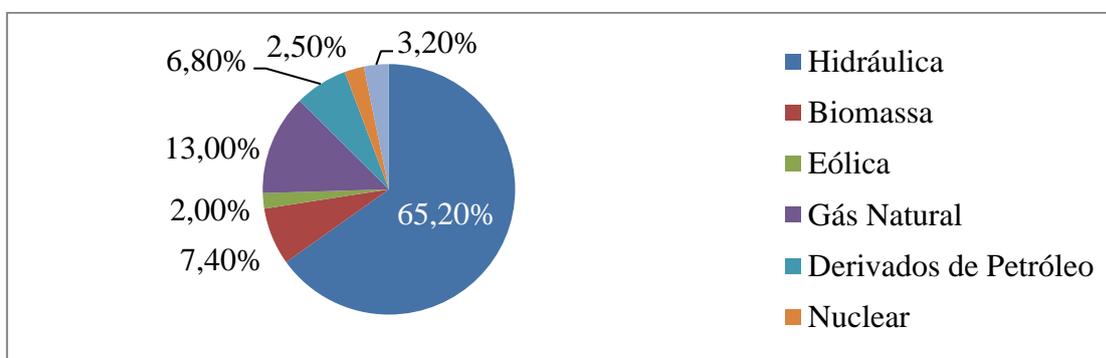


Figura 3.5: Matriz elétrica brasileira

Fonte: EPE (2015).

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2015 realizado pela Empresa de Planejamento Energético (EPE), a energia hidráulica predominava, com 65,2% em 2014. Esta participação já foi bem maior, chegou a alcançar 79,3%, em 2013 e 84,5%, em 2012, mas o país experimentou uma crise hídrica. Ainda assim, o Brasil é o segundo maior produtor de energia elétrica de origem hidráulica do mundo com 139 Mtep (10^6

toneladas equivalentes de petróleo), por ano, ficando atrás apenas da China (World Energy Resources, 2014).

Com uma disponibilidade consideravelmente menor da energia das hidrelétricas, optou-se por utilizar uma quantidade maior de energia proveniente de usinas termelétricas, cuja fonte é não renovável e que emite gases para a atmosfera.

Entre 2013 e 2014, as energias solar e eólica apresentaram juntas um crescimento de 122,2% em sua capacidade instalada (EPE, 2015), o que deve se refletir, numa tendência de crescimento de participação destas fontes de energia na matriz elétrica brasileira ao longo dos próximos anos. Tornando a matriz elétrica brasileira mais limpa e, conseqüentemente, seu uso para o setor de transportes deve ser considerado como medida ambientalmente sustentável.

Em relação ao balanço energético total, de acordo com Baran (2012), mesmo que houvesse um aumento significativo da frota de veículos elétricos, o aumento na demanda por energia elétrica não seria equivalente à energia fóssil que deixaria de ser consumida, pois o veículo elétrico é mais eficiente, gerando economia de energia. Sperandio, Saldanha e Basso (2012) sugerem que seja controlada a interface do veículo elétrico com a rede, assim ela poderia fornecer energia nos horários críticos e recarregar nos momentos em que há baixa demanda, como de madrugada, quando os carros estão estacionados na garagem.

No entanto, é necessário atentar para a potência necessária no momento de recarga do veículo. De acordo com sugestões de políticas públicas para o segmento de Vaz *et al.* (2015), se 20% de toda a frota de veículos leves no Brasil fosse elétrica, a demanda de energia seria equivalente a menos de 2% do total, mas, se esses veículos efetuassem recarga ao mesmo tempo, seria necessária uma potência bem maior, a qual poderia gerar impactos de até 20% na demanda máxima de energia, dependendo do modo de carga

3.2 Evolução histórica

O uso de veículos elétricos não se trata de uma iniciativa inovadora. No início do século XX, havia mais veículos elétricos do que veículos a combustão interna (Vaz *et al.* 2015). Diversos fatores, comerciais, políticos e estruturais, confinaram essa tecnologia a uma participação marginal. Entretanto, nos últimos anos, os avanços tecnológicos

conquistados no campo das baterias reavivam esta opção num momento em que a sociedade considera crescentemente as questões ambientais.

Contexto mundial

3.2.1.1 O Surgimento dos veículos elétricos

A origem dos veículos elétricos se deu, aproximadamente, na mesma época da invenção do automóvel (Wakefield, 1998). Mas, segundo Roumboutsos *et al.* (2014), não se conhece o momento certo, e pelas mãos de quem, eles apareceram.

De acordo com Bellis (2014), diversos modelos foram projetados em pequena escala ou de forma experimental ao longo do século XIX. Em 1897, o primeiro veículo elétrico que foi comercializado e, um ano depois, apareceram as primeiras estações de distribuição de energia em larga escala (Wakefield, 1998).

No começo do século XX, os veículos elétricos contavam com um diferencial relevante de conveniência em relação a seus concorrentes, os com motor a gasolina e os veículos a vapor (Vaz *et. al.*, 2015):

- Rápido acionamento, em contraste com modelos à combustão interna, que eram acionadas por manivela operadas manualmente e modelos movidos a vapor, que requeriam longas esperas para seu acionamento, especialmente em dias frios;
- Fácil condução ao contrário de veículos a gasolina que exigiam treinamento prévio de seus condutores: este tipo de motor necessitava de trocas de marchas, desnecessárias aos veículos elétricos;
- Maior autonomia em relação aos veículos a vapor. Estes veículos que necessitavam de recarga bastante frequente, com intervalo menor que o requerido pelos veículos elétricos;

Os pontos negativos dos veículos elétricos residiam em seu custo maior de operação, especialmente frente aos veículos a vapor, e sua menor autonomia, em relação aos veículos a gasolina. Este último fato era minimizado pela precariedade da rede rodoviária americana da época já que as únicas boas estradas de todo o país estavam em área urbana. Isto fazia com que a maioria das viagens fosse apenas local, situação ideal para os veículos elétricos com seu alcance limitado.

Refletindo estes diferenciais técnicos e de infraestrutura, no primeiro censo norte-americano de veículos automotores, publicado em 1900 e conduzido durante o ano de 1899, 109 fábricas haviam produzido 4.192 veículos rodoviários (Bellis, 2014). A Figura 3.6 apresenta a distribuição desses veículos de acordo com o tipo de propulsão, destacando que veículos à gasolina eram minoria:

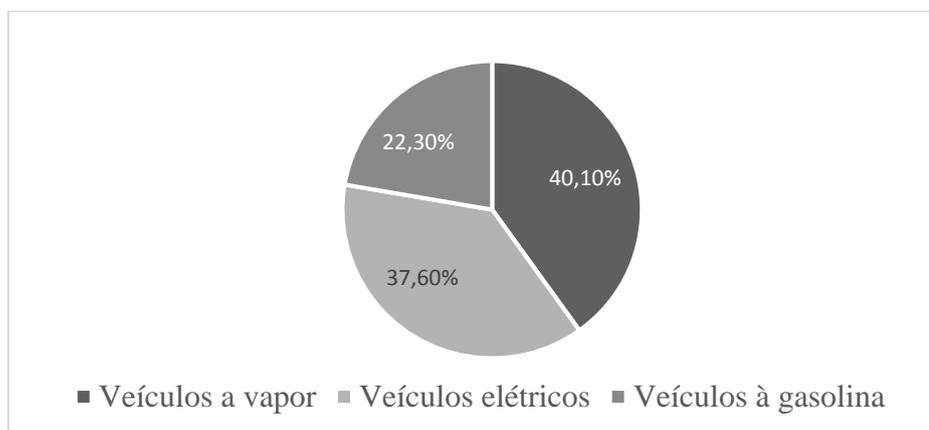


Figura 3.6 Tipos de veículos rodoviários em 1899

Fonte: Elaboração própria com base em Bellis (2014)

Entretanto, em pouquíssimo tempo, a situação se reverteu completamente. Neste período de marcante progresso, o mercado automotivo doméstico disparou em vendas de automóveis, empurrado por dois fatores principais: o maciço investimento governamental na construção de estradas e o grande esforço de investimento realizado pelas fabricantes para vencer suas limitações técnicas e popularizar o automóvel.

De fato, segundo Mom (1998), no censo de 1905, com dados levantados em 1904, apenas cinco anos após o primeiro censo, a indústria norte-americana tinha mais do que quintuplicando o tamanho do mercado, produzindo um total de 21.692 veículos. A exemplo dos veículos a vapor, os elétricos também decresceram em número de unidades comercializadas, em relação ao censo anterior, apesar do grande aumento de tamanho do mercado. A Figura 3.7 mostra a participação por tipo de veículo em 1904 neste mercado.

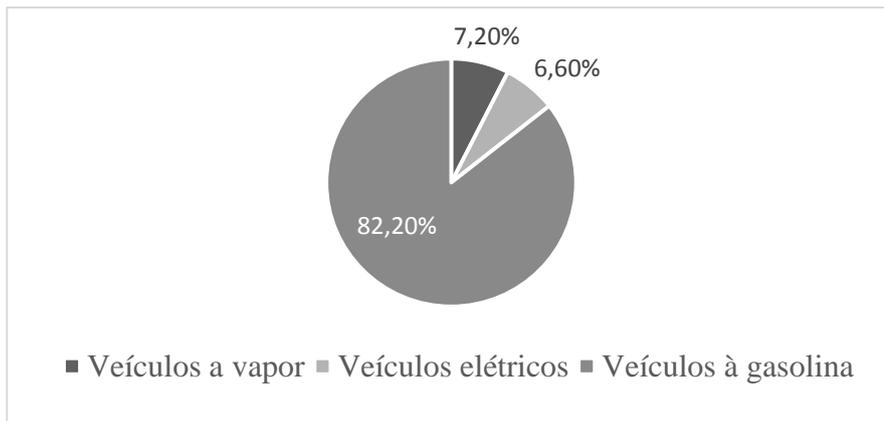


Figura 3.7 Tipos de veículos rodoviários em 1904

Fonte: Elaboração própria com base em Bellis (2014)

3.2.1.2 Veículos elétricos de carga do começo do século XX

O transporte de carga ainda estava limitado à tração animal mesmo nos Estados Unidos na virada do século XX. Todavia, o consistente crescimento econômico da nação norte-americana, e a subsequente necessidade de aumentar o transporte de carga nas cidades, trouxeram desafios aos grandes proprietários das frotas de cargas e apelo à modernização do sistema (Mom, 1998):

- Os custos do frete se tornavam cada vez maiores, uma vez que os estábulos em área urbana rareavam, pelo aumento dos preços dos terrenos;
- Havia ainda grandes congestionamentos;

Assim, alguns desses grandes proprietários de frotas para transporte de cargas se interessaram em mudar da tração animal para tração elétrica. A Figura 3.8 mostra como era um caminhão no começo do século XX.



Figura 3.8 Veículo elétrico de carga do começo do século

Fonte: Pinterest (2016)

No entanto, diversos fatores não permitiram uma maior difusão dos veículos elétricos como (Vaz et al., 2015):

- As inconveniências dos veículos à gasolina foram eliminadas com a invenção da partida elétrica e do silenciador;
- Depois que o primeiro sistema de produção em massa foi criado por Henry Ford, os veículos a gasolina passaram a ser vendidos quase três vezes mais baratos em relação aos elétricos, sendo muito mais acessíveis. Por outro lado, o preço de veículos elétricos, produzidos com menor eficiência, continuou a subir;
- Concomitantemente com o avanço da indústria, as reservas de petróleo que foram descobertas no Texas, tornaram o preço da gasolina mais barato e acessível. Inúmeros postos de abastecimento surgiram nos Estados Unidos e, conseqüentemente o motor à combustão interna tornou-se o padrão dominante da indústria. A gasolina abundante e barata impedia o desenvolvimento de tecnologias alternativas;
- O rápido desenvolvimento econômico norte-americano propiciou a expansão de seu sistema de transportes rodoviários, com a construção de longas rodovias cortando o país e conectando cidades. Por conseguinte, houve um aumento de demanda por veículos com maior autonomia, capazes de percorrer longas distâncias;

3.2.1.3 A queda de produção de veículos elétricos

Assim, a produção de caminhões elétricos que, em 1919, atingiu o número de 2.498 unidades, despencou, apenas três anos mais tarde para somente 405 veículos, já que caminhões à combustão interna foram privilegiados nos tempos de guerra (1ª Guerra Mundial) pois ofereciam menor vulnerabilidade (Mom, 1998). Embora tenham sumido das ruas, os caminhões elétricos continuaram a ser utilizados em fábricas e armazéns. O mercado de caminhões pós-guerra permaneceu sendo dominado pela indústria de caminhão à combustão interna, apoiada por sua ampla capacidade instalada de produção. Os usuários em potencial optaram pelos caminhões a gasolina, pelo seu baixo preço de compra e ausência da necessidade de investimento em uma infraestrutura de carregamento.

Além disso, com o crescimento do número de proprietários de veículos de passageiros e também do mercado de refrigeração doméstica, o sistema de entrega

gratuita porta a porta diminuiu e o mercado *delivery* deslocou-se para o de entregas a maior distância. Assim, surgiu a demanda por veículos com maior autonomia, que pudessem fazer viagens interurbanas (Rabum, 1988 *apud* Mom, 1998).

Entretanto, poucas décadas depois do término da 2ª Guerra Mundial, o interesse pelos veículos elétricos iria ressurgir novamente. Desde os anos 1960, já havia uma preocupação nos Estados Unidos em reduzir a dependência do país em relação ao petróleo bruto importado. Esta necessidade ficou bem marcada nos anos 1970, quando houve um embargo da distribuição de petróleo pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) (Vaz *et al.*, 2015). A OPEP, numa ação cartelizada entre seus associados, provocou um aumento significativo no preço do barril de petróleo, fazendo disparar o preço da gasolina e gerando uma grave crise internacional.

Então, devido a essa forte pressão econômica, muitos países foram buscar alternativas ao sistema de propulsão convencional, entre elas a elétrica, para diminuir a dependência do petróleo e de seus derivados (Matulka, 2014).

3.2.1.4 *O reaparecimento dos veículos elétricos*

Em 1965, alguns institutos de pesquisa e fabricantes iniciaram o projeto de um veículo automotor movido à energia elétrica, mas os protótipos iniciais foram reprovados por baixo desempenho tecnológico e por custos não competitivos, quando comparados aos modelos similares movidos à gasolina (Dijk *et al.*, 2013). Entretanto, os esforços prosseguiram e, década e meia, mais tarde, cerca de quatro mil veículos elétricos à bateria já haviam sido comercializados (USPS, 2014). Dentre os quais, a American Motors Corporation, (AMC), produziu 350 unidades do AMC Electric Jeep ("Electruck"), veículo comercial leve utilizado para entrega, pelos correios americanos. Estes veículos possuíam uma recarga de aproximadamente oito horas, mas uma autonomia de apenas 47 km, devido ao regime anda e para das entregas e custavam duas vezes mais do que os veículos a combustão interna da mesma categoria. A Figura 3.9 representa o carregamento dos Electrucks em 1978.



Figura 3.9 Eletrucks

Fonte: USPS (2014)

3.2.1.5 O veículo elétrico como alternativa sustentável

Após um período de interesse apenas morno pelo assunto, os carros com motores de baixa emissão, voltaram a experimentar um renovado interesse, na segunda metade da década de 1980 e início dos anos 90. Segundo Dijk *et al.* (2013), este novo aquecimento do interesse foi, um pouco, motivado pelas políticas e programas ambientais europeus, mas teve maior efetividade pela regulamentação da Califórnia, um estado que tradicionalmente liderava a legislação sobre emissões. A *California Air Resources Board* (CARB) tinha a ambição de reduzir os problemas de saúde na área de Los Angeles, provocados por emissões tóxicas de veículos automotivos e pressionou a indústria para alcançar um novo e rigoroso padrão, a da emissão zero, pela criação de motores adaptados para este limite.

Com estas normas, a CARB pôde pressionar ainda mais o desenvolvimento e as vendas de veículos elétricos (Kemp, 2005). Logo, outros estados se juntaram até que houve a aprovação requisitos ainda mais rigorosos pelo Environmental Protection Agency (EPA), órgão federal da proteção ambiental. Essa iniciativa americana começou a ser difundida em outros lugares do mundo. Segundo Nieuwenhuis e Wells (1997) *apud* Dijk *et al.* (2013), houve, então, na Europa, um aparente consenso entre os formuladores de políticas de que o uso de incentivos, ao invés de desincentivos, seria uma maneira mais desejável e potencialmente mais eficaz de promover os veículos mais limpos.

Em 1992, houve grande destaque para a questão da sustentabilidade ambiental já que a Organização das Nações Unidas (ONU), realizou no Rio de Janeiro, em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, (CNUMAD) que ficou mais conhecida como Rio 92, na qual os Chefes de Estado de 179 países participantes assinaram e oficializaram a Agenda 21 Global. Este documento constituído por quarenta capítulos continha a mais abrangente tentativa já realizada de promover o desenvolvimento sustentável em escala mundial. A Rio 92 foi um marco no despertar maior da conscientização global pela melhoria da qualidade do ar nas cidades, pela redução das emissões de GEE e pela substituição de combustíveis fósseis por energias alternativas. O setor automotivo foi buscar, então, veículos mais eficientes e com menor impacto ambiental, estimulando a eletrificação veicular em diversas partes do mundo.

Mas, os protótipos de veículos de tecnologia BEV, que surgiram na década de 1990, oscilaram em receptividade e caíram no primeiro semestre de 2000, subindo de novo só após 2005. De acordo com Bakker e Lente (2009), esta inconstância se deve ao fato de que nos anos 2000, a atenção se voltou para o hidrogênio e para veículos à célula combustível (*Fuel cell vehicles* - FCV). A aceitação dos protótipos FCV também oscilou, decrescendo acentuadamente após 2007.

Apesar deste crescimento, Oltra e Saint Jean (2009) destacam que número de patentes e lançamento de novos produtos no período entre 1990 e 2005 indica claramente este foco dos fabricantes europeus de automóveis: cerca de 80% das patentes foram concedidas às novas tecnologias relacionadas a motores de combustão interna contra apenas 20% para as tecnologias de bateria, exclusivamente elétricos e híbridos.

Em âmbito mundial, a maioria das empresas não considerou a propulsão elétrica como uma estratégia competitiva devido à busca pela redução de custos e diferenciação dos motores à combustão interna. Apesar dos esforços dos reguladores para fazer dos veículos elétricos um sucesso comercial, os poucos projetos de demonstração em grande escala não atraíram suficientemente os consumidores, desencorajando os fabricantes (Dijk *et al.*, 2013).

Contexto brasileiro

No Brasil, a indústria automobilística apenas adequava a tecnologia dos modelos importados às condições nacionais de clima, estradas e combustíveis até a década de 1990, de acordo com Casotti e Goldenstein (2008). A partir de então, segundo Baran (2012), deu-se o início do desenvolvimento de projetos genuinamente brasileiros com a abertura comercial do mercado nacional, investimentos recebidos pelo setor e estímulos do governo, no entanto os veículos elétricos não foram priorizados, devido a uma série de problemas tais como os elevados custos de fabricação, a baixa autonomia das baterias e aos programas de incentivo ao uso do etanol.

Mesmo assim, houve uma pequena iniciativa na área dos automóveis elétricos com a criação do Gurgel Itaipu com motor elétrico que possuía uma autonomia entre 60 km e 80 km, sendo o primeiro veículo elétrico brasileiro. Porém, seu preço, segundo Vaz *et al.* (2015), não era satisfatório em relação aos demais veículos, haviam limitações de funcionamento e, com o fim do embargo econômico do petróleo, este veículo não passou de um protótipo.

Assim como em todo mundo, a preocupação com a sustentabilidade ambiental é o que tem feito despertar para o uso de veículos elétricos no Brasil anos depois dessa primeira tentativa frustrada. Somente a partir de 2006, é possível ver a presença dos veículos elétricos na lista de veículos novos no Brasil. A Figura 3.10 mostra o crescimento do número de licenciamentos ao longo dos últimos anos.

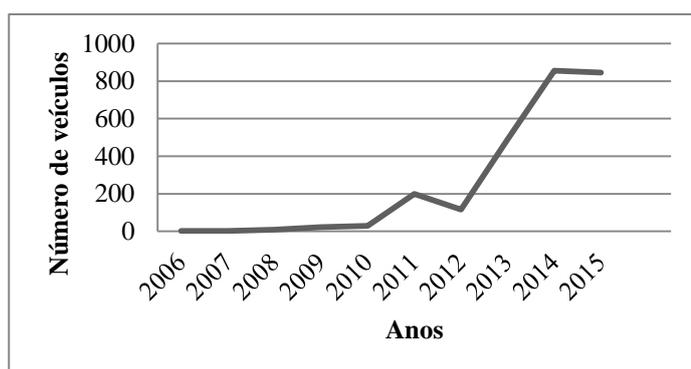


Figura 3.10 Crescimento no licenciamento de veículos elétricos no Brasil

Fonte: Elaboração própria com base em Anfavea (2015).

Esse crescimento apresenta um incremento modesto até 2010, um pico em 2011 e uma queda de aproximadamente 50% em 2012. Destaca-se que, entre 2012 e 2014, esses

licenciamentos cresceram mais de oito vezes. Para 2015, houve uma pequena queda, pouco significativa. Esse crescimento de licenciamentos de veículos elétricos ainda não é expressivo considerando o total de veículos licenciados, que está na casa dos milhões, mas pode ser considerado como um começo.

3.2.2.1 O caminhão elétrico brasileiro

O Iveco Daily Elétrico é primeiro veículo conceitual elétrico de carga da América Latina e foi desenvolvido através de uma parceria entre a Iveco, fabricante de veículos pesados, e a Itaipu Binacional, usina hidrelétrica líder mundial em produção de energia limpa e renovável. Este caminhão já foi premiado com o “Destaque Tecnológico do Congresso SAE Brasil 2009”.

O modelo escolhido como base para o elétrico foi o Iveco Daily 55C, com 3.750 mm entre eixos e chassi cabine dupla. A versão elétrica ganhou a denominação 55C/E. A Figura 3.11 ilustra este veículo.



Figura 3.11 Daily elétrico

Fonte: G1 (2014)

As três baterias que compõe o protótipo do Daily Elétrico são da marca Zebra, (Zeolite Battery Research Africa Project), tipo Z5, que, ao contrário de muitas baterias, não libera hidrogênio (gás inflamável), e é três vezes mais leve do que um modelo de chumbo-ácido similar em armazenamento de energia. Estas baterias possuem tempo de recarga de oito horas para cada ciclo e vida útil de cerca de 1.000 ciclos, carregando e consumindo energia simultaneamente. As baterias não precisam ser retiradas para serem recarregadas e não exigem manutenção. Elas também não possuem efeito memória: assim, a carga pode ser feita com qualquer quantidade residual de energia. Cada uma das

baterias é hermeticamente fechada em um invólucro metálico, que isola totalmente a temperatura interna de operação (250°C), conforme a Figura 3.12.



Figura 3.12 Motor e banco de baterias do Daily elétrico.

Fonte: G1 (2014)

À base de sódio, níquel e cádmio, substâncias facilmente encontradas, diferentemente do lítio que é raro e caro, as baterias são totalmente recicláveis e podem ser posteriormente reaproveitadas em diversos processos industriais. Estas baterias são acopladas a um motor elétrico MES-DEA, de corrente alternada, tipo assíncrono, trifásico, controlado pelo inversor de potência e refrigerado a água. A Tabela 3.3 apresenta as características deste veículo.

Tabela 3.3 Propriedades do Daily elétrico

Potência nominal	40 kW (54 cv)
Torque	129 Nm a 2.950 rpm
Pico de potência	80 kW (108 cv)
Pico de torque	300 Nm
Capacidade de carga	2,5 t

Fonte: Iveco

O Daily Elétrico é 450 kg mais pesado (sem carga), quando comparado a um Daily cabine dupla comum (modelo 55C16). A capacidade de carga útil pode chegar a até 2,5 toneladas. O Iveco Daily Elétrico possui ainda um sistema de frenagem regenerativa. Por ser um veículo experimental, o Daily Elétrico é apenas produzido por encomenda, com o prazo e custos diferenciados dos demais produtos da Iveco.

4. PERFIL DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS DE CARGA

Tendo conhecido os veículos de carga utilizados no Brasil e a tecnologia por trás dos veículos elétricos, faz-se necessário conhecer o as características dos veículos elétricos de carga produzidos na atualidade e as experiências de países que os utilizam. Para tal, realizou-se uma revisão bibliográfica sistemática. Escolheu-se este tipo de revisão, pois, segundo, Bereton *et al.* (2007), o uso de procedimentos sistemáticos diminui suas possibilidades de erros aumentando a confiabilidade dos resultados de uma pesquisa.

4.1 O procedimento da revisão bibliográfica sistemática

De acordo com Tranfield, Denyer e Smart (2003), uma revisão bibliográfica sistemática é composta por três atividades: o planejamento, a realização e a comunicação e divulgação. A fase de planejamento consiste na identificação da necessidade da revisão, a elaboração de sua proposta e desenvolvimento de seu protocolo. Já a fase de realização consiste na identificação dos trabalhos, sua seleção, a avaliação dos trabalhos selecionados, extração e síntese de dados. Por fim, a fase de comunicação e divulgação propõe a elaboração de relatórios e a apresentação dos resultados. A Figura 4.1 apresenta o procedimento de Oliveira *et al.* (2015), o qual foi adotado no estudo.

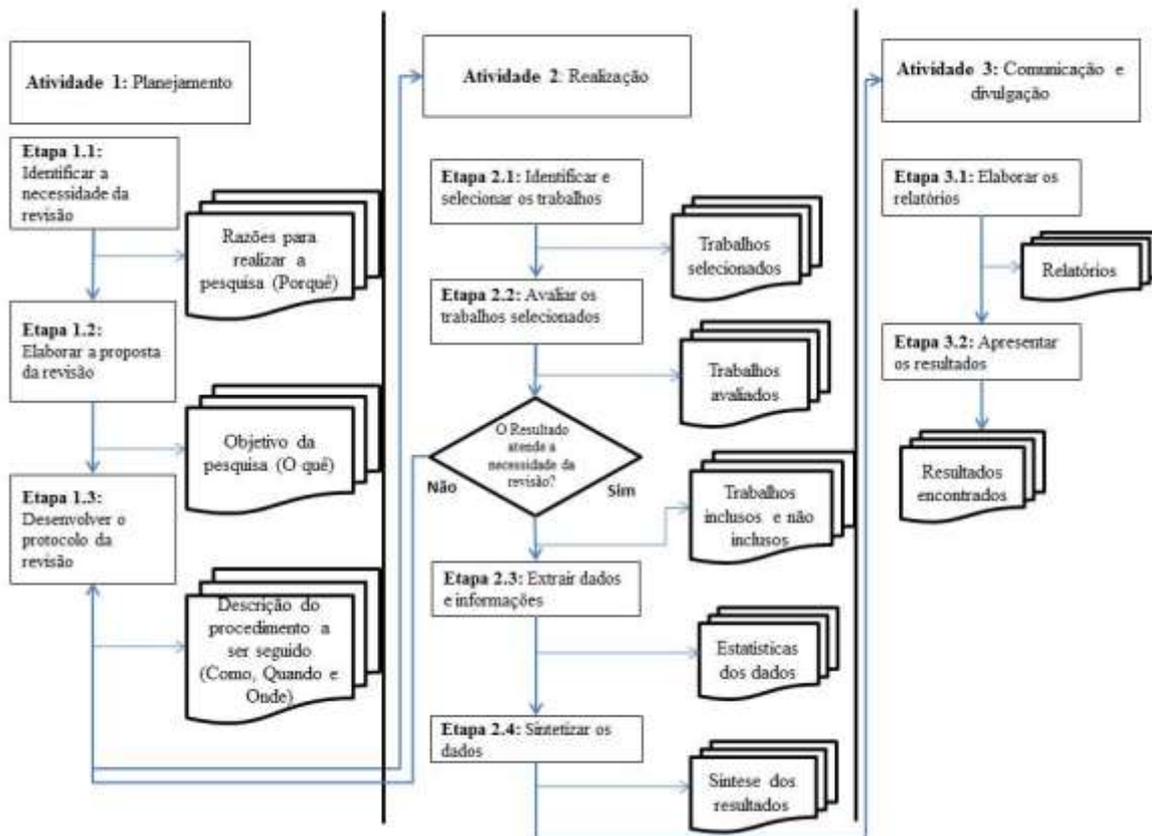


Figura 4.1 Procedimento adotado na identificação do perfil dos veículos elétricos de carga
 Fonte: Oliveira *et al.*, 2015

4.2 Aplicação do procedimento e resultados encontrados

Após a definição do procedimento a ser seguido, será apresentada a aplicação de cada atividade e seus resultados.

Atividade 1 – Planejamento

A seguir, a Atividade 1 (fase de planejamento da revisão) é descrita.

4.2.1.1 Etapa 1.1: Identificar a necessidade da revisão

Conforme o item 1.2 deste estudo, o estudo dos veículos elétricos de carga e suas características é relevante para a realização de uma análise de sua utilização como alternativa para o transporte rodoviário de cargas.

4.2.1.2 *Etapa 1.2: Elaborar a proposta de revisão*

Objetiva-se com esta revisão identificar:

- As características dos veículos elétricos de carga relacionados à autonomia e consumo;
- Os tipos de veículos elétricos de carga apropriados para cada etapa de operação da cadeia de suprimentos, seja o suprimento ou a distribuição física de carga;
- E em que países veículos desta tecnologia têm estudado estes veículos e sua incorporação à frota.

4.2.1.3 *Etapa 1.3: Desenvolver protocolo de revisão*

Para identificação dos artigos foi feita uma consulta à base de dados *online Science Direct*, que, disponibiliza estudos cuja avaliação é criteriosa, garantindo qualidade aos estudos consultados. A busca foi feita por meio do sistema de pesquisa avançada da base de dados.

Utilizou-se como palavras-chaves, *electric truck* e *freight electric vehicle* (caminhão elétrico e veículo elétrico de carga). Cada trabalho deveria conter pelo menos uma das duas opções de palavras-chaves em seu título, palavras-chaves ou resumo.

De acordo com Nord e Nord (1995) e Ngai e Wat, (2002), profissionais e pesquisadores utilizam periódicos científicos para adquirir informações e divulgar novos resultados. Optou-se, portanto, por pesquisar somente em artigos científicos, uma vez que, busca-se resultados de pesquisas recentes.

Como delimitação temporal, selecionaram-se artigos publicados somente entre 2006 a 2016 para que esta pesquisa retrate o cenário atual de utilização da tecnologia. Como conhecer a experiência de diversos países faz parte do objetivo desta revisão, não foi adotada uma delimitação espacial específica.

A seleção de artigos baseou-se numa avaliação do conteúdo do resumo dos artigos. Como critério de seleção, considerou-se que o objetivo principal da pesquisa. Foram selecionados veículos que continham todas as características a seguir: veículos do modo rodoviário, exclusivamente elétricos carregados à bateria e utilizados para o transporte de cargas. Assim, foram eliminados todos os artigos que tratavam de outros

modos senão o rodoviário, veículos híbrido-elétricos, à célula combustível, veículos com outros tipos de sistemas de propulsão e veículos utilizados no transporte de passageiro.

Quanto à inclusão ou exclusão dos artigos, os artigos selecionados foram completamente examinados. Neste momento, eliminaram-se todos os estudos que não forneceram dados para obtenção do objetivo proposto no estudo. Foram escolhidos como dados necessários o tipo de veículo, o tipo de operação da cadeia de suprimentos, a autonomia e o consumo. Mediante esses dados, é possível analisar a utilização desses veículos na frota de transportes de carga.

A Figura 4.2 sintetiza os critérios de revisão utilizados neste trabalho.

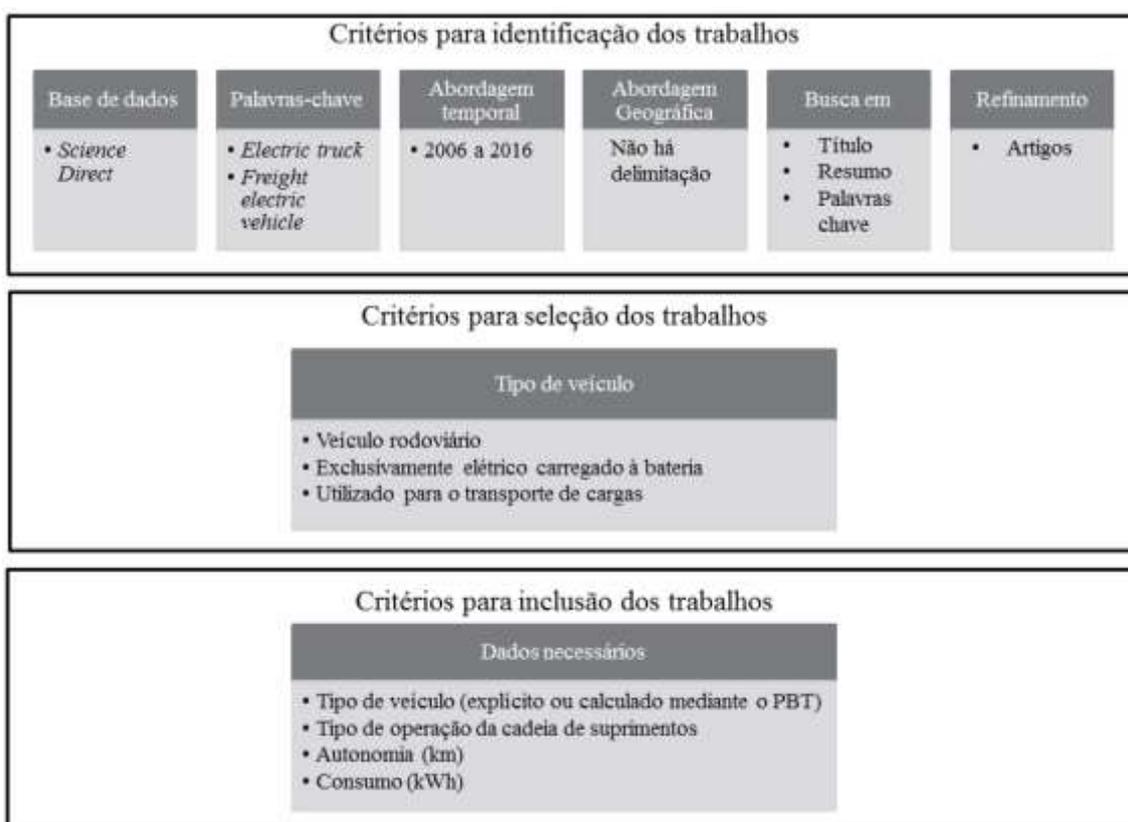


Figura 4.2 Critérios deste estudo para identificação, seleção e inclusão dos trabalhos.

Fonte: Elaboração própria

Desenvolveu-se um banco de dados com o registro de informações levantadas em cada artigo selecionado para facilitar a classificação e avaliação dos artigos que suportam esta pesquisa.

Atividade 2 – Realização

Após a fase de planejamento, realizou-se a revisão bibliográfica sistemática.

4.2.2.1 Etapa 2.1: Identificar, selecionar e incluir trabalhos

A identificação e seleção dos estudos seguiram os critérios apresentados no subitem 4.2.1 deste estudo. Identificou-se 97 estudos, no entanto, somente 35 foram selecionados para a realização dessa revisão bibliográfica sistemática. Destes artigos selecionados, apenas 13 continham os dados necessários no critério de inclusão. A Figura 4.3, mostra a proporção de artigos para as etapas de identificação, seleção e inclusão dos artigos.

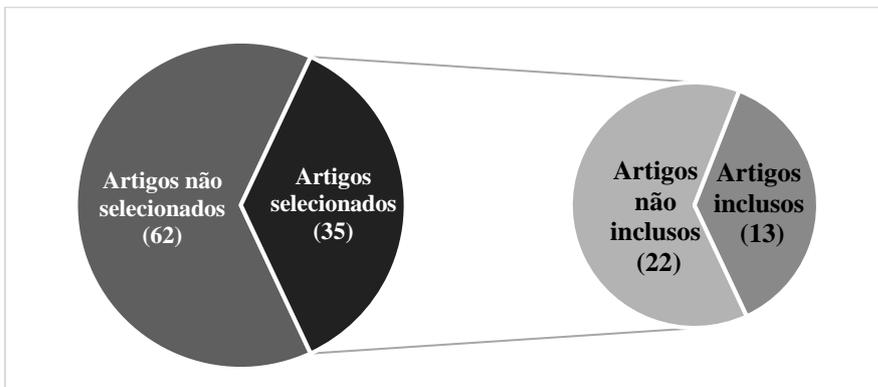


Figura 4.3 Proporção de artigos por etapa da revisão.

Fonte: Elaboração própria

4.2.2.2 Etapa 2.2: Avaliar os trabalhos inclusos

Tais artigos estão distribuídos por 6 periódicos científicos diferentes (Figura 4.4).

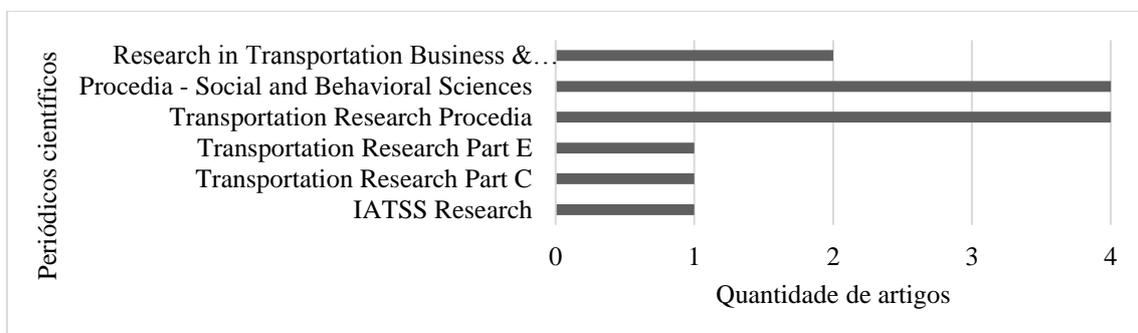


Figura 4.4 Distribuição dos artigos selecionados por periódicos..

Fonte: Elaboração própria

Houve maior concentração de trabalho, quatro em cada uma, em dois periódicos: *Procedia Social and Behavioral Science* e *Transportation Research Procedia*. Esses periódicos são caracterizados por publicar de artigos que foram selecionados para os principais congressos internacionais da área. Seus processos de avaliação são mais rápidos em relação aos periódicos indexados, possibilitando a consulta a pesquisas mais recentes tais como esta.

4.2.2.3 Etapa 2.3: Extrair dados e informações

Os dados estatísticos relacionados aos trabalhos inclusos no processo da revisão bibliográfica sistemática encontram-se apresentados nas Figuras 4.5 e 4.6.

Em relação à abrangência temporal, verificou-se que não foram encontrados artigos nos primeiros anos considerados na pesquisa (de 2006 a 2010). Somente a partir de 2011, a identificação dos artigos foi possível. Verifica-se maior concentração de artigos em 2014 conforme a Figura 4.5.

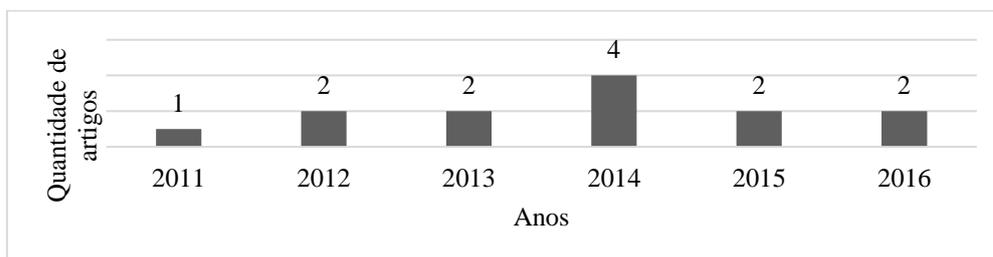


Figura 4.5 Distribuição dos artigos com base na abrangência temporal.

Fonte: Elaboração própria

Em relação à abrangência geográfica, verificou-se maior concentração dos trabalhos no continente Europeu (10), seguido da América do Norte com três artigos, como pode ser visto na Figura 4.6. Quanto aos artigos oriundos da América do Norte, verificou-se que todos são provenientes dos Estados Unidos. Dos artigos oriundos do continente Europeu (10), verifica-se maior concentração para a Itália com três artigos cada. O Reino Unido, a Polônia e a Grécia contribuem com dois artigos cada e França com um artigo.

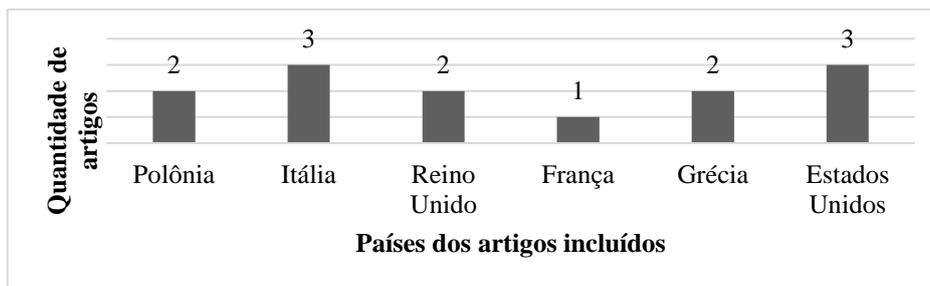


Figura 4.6 Distribuição dos artigos com base na abrangência geográfica.

Fonte: Elaboração própria

4.2.2.4 Etapa 2.4: Sintetizar os dados

Nesta etapa elaborou-se uma tabela (Tabela 4.1) contendo os tipos de veículo em função os tipos de operação realizados, o país no qual se realizou o estudo, a autonomia, o consumo e as referências bibliográficas. Verificou-se que não foram encontrados resultados para caminhões pesados. Para todos os tipos de veículos encontrados, identificou-se apenas distribuição física como tipo de operação.

Tabela 4.1 Características dos veículos elétricos de carga pelo tipo de veículo.

Tipo de veículo	Tipo de operação	País estudado	Autonomia (km)	Capacidade da bateria (kWh)	Autor
Comercial leve	Distribuição física	Itália	-	-	Deflorio <i>et al.</i> , 2015
Comercial leve	Distribuição física	Itália	-	60	Deflorio e Castello, 2015
Comercial leve	Distribuição física	Reino Unido	96	-	Leonardi <i>et al.</i> , 2012
Comercial leve	Distribuição física	Polônia	80 - 200	-	Iwan <i>et al.</i> , 2014
Comercial leve	Distribuição física	Reino Unido	-	-	Browne <i>et al.</i> , 2011
Comercial leve	Distribuição física	Grécia	-	-	Margaritis <i>et al.</i> , 2016
Comercial leve	Distribuição física	Grécia	-	-	Roumboutsos <i>et al.</i> , 2014
Caminhão semileve	Distribuição física	EUA	161	80	Feng e Figliozzi, 2012
Caminhão semileve	Distribuição física	EUA	161	80	Feng e Figliozzi, 2013
Caminhão semileve	Distribuição física	Itália	-	-	Deflorio e Castello, 2015
Caminhão semileve	Distribuição física	EUA	161	80	Davis e Figliozzi, 2013
Caminhão semileve	Distribuição física	Polônia	100 - 160	-	Iwan <i>et al.</i> , 2014
Caminhão semileve	Distribuição física	França	-	-	Rizet <i>et al.</i> , 2016

Tipo de veículo	Tipo de operação	País estudado	Autonomia (km)	Capacidade da bateria (kWh)	Autor
Caminhão leve	Distribuição física	Itália	-	-	Paddeu <i>et al.</i> , 2014
Caminhão leve	Distribuição física	EUA	161	80	Davis e Figliozzi, 2013
Caminhão leve	Distribuição física	Polônia	100 - 145	-	Iwan <i>et al.</i> , 2014
Caminhão leve	Distribuição física	Grécia	-	-	Margaritis <i>et al.</i> , 2016
Caminhão leve	Distribuição física	Polônia	100-150	-	Foltyński, 2014
Caminhão leve	Distribuição física	França	-	-	Rizet <i>et al.</i> , 2016
Caminhão médio	Distribuição física	Polônia	160	-	Iwan <i>et al.</i> , 2014
Caminhão semipesado	Distribuição física	Polônia	300	-	Iwan <i>et al.</i> , 2014

Fonte: Elaboração própria

Atividade 3 – Comunicação e divulgação

4.2.3

A comunicação e a divulgação da revisão bibliográfica sistemática foram feitas mediante este estudo. Posteriormente, pretende-se elaborar um artigo científico de veiculação nacional.

4.3 Análise dos resultados encontrados

Por meio dos resultados da revisão bibliográfica sistemática, foi possível identificar os tipos de veículos elétricos de carga apropriados para atuação nas operações de suprimento ou distribuição física de carga e em que países, esta prática vem sendo mais explorada. Além disso, foi possível identificar a autonomia e o consumo desses veículos.

Quanto aos tipos de veículos elétricos, verificou-se que somente veículos do tipo comercial leve e caminhões semileves, leves, médios e semipesados foram identificados nos estudos. Os veículos do tipo comercial leve estiveram presentes em 54% dos estudos e os caminhões semileves e leves em 46% dos estudos e caminhões médios e semipesados em apenas 8%. Isto demonstra que os veículos elétricos se concentram nos tipos mais leves de veículos de carga, sendo capazes de carregar cargas mais leves.

Todos os estudos inclusos nesta revisão bibliográfica sistemática (100%) trataram da operação de distribuição física da cadeia de suprimentos, ou seja, consideraram as operações de coleta, distribuição ou transferência de carga. Pressupõe-se que a operação de suprimentos exija veículos de maior porte e com capacidade de alcançar maiores distâncias, o que pode ter dificultado a identificação de trabalhos sobre isto visto que veículos elétricos têm justamente limitações nesta área conforme o item 3.1. Logo, este estudo coerência entre o tipo de operação e os tipos de veículos estudados.

Verificou-se que 23% dos artigos eram dos EUA. Foi encontrada a mesma porcentagem de artigos italianos. O Reino Unido, a Polônia e a Grécia, tiveram aproximadamente, 15% dos artigos desta pesquisa e a França teve apenas 8%.

Com relação à autonomia e o consumo dos veículos, verificou-se que os veículos do tipo comercial leve possuem uma autonomia de variou de 80 a 200 km, com consumo entre 60 a 80 kWh. Os veículos do tipo caminhão semileve possuem uma autonomia que variou de 100 a 160 km, com consumo de aproximadamente 80kWh. Para os demais tipos de veículos foi possível identificar somente a autonomia. Para o caminhão leve verificou-se autonomia de 100 a 145 km, para caminhão médio de até 160 km e para caminhão semipesado de até 300 km.

5. ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS DE CARGA

Como visto no item 3.1, os veículos elétricos de carga apresentam diversas vantagens sobre os veículos convencionais ligadas ao aspecto ambiental tais como ausência de ruídos e a não emissão de gases tanto poluentes atmosféricos como GEE. De fato, caso os veículos elétricos representassem uma parte importante da frota do TUC, haveria uma significativa redução da poluição sonora e atmosférica, acarretando uma melhoria da qualidade do ar local, tornando os centros urbanos mais agradáveis e reduzindo os danos à saúde da população (Gouveia *et al.*, 2003), influenciando assim o positivamente o aspecto social. Com isto, a implantação de veículos elétricos de carga na cadeia de suprimentos tem potencial para reduzir a antipatia da população com o transporte de cargas, apontada como desafio para o TUC por Oliveira *et al.* (2015).

Segundo o item 4.3, há uma vocação dos veículos elétricos para serem aplicáveis ao segmento de distribuição física da cadeia de suprimentos em centros urbanos. Browne *et al.* (2011) afirma que o uso de veículos elétricos em uma cadeia de suprimentos já altamente consolidado, confiável e ainda traz muitos outros benefícios, principalmente se seu uso estiver associado com a instalação de centros de distribuição dentro das cidades. Roumboutsos *et al.* (2014) também assevera que seu impacto é otimizado quando adotado em conexão com outras medidas, como entregas noturnas, gestão do tráfego, entre outras.

A nível nacional, a introdução do uso da energia elétrica no setor de transportes pode ser vista como uma vantagem estratégica. Segundo a EPE (2012), 81% da energia consumida pelo setor de transportes no Brasil são de origem fóssil sendo que grande parcela desses combustíveis é importado de outros países, gerando altos gastos com logística e, conseqüentemente, impactos ambientais. Além disso, como visto ao longo da história, explicitada no item 3.2.1, o preço do petróleo no mercado internacional é altamente influenciado por decisões seus países produtores e pode trazer conseqüências significativas para o país. Assim, uma redução da dependência nacional do petróleo e seus derivados é uma vantagem evidente.

Nos últimos anos, segundo Quak *et al.* (2016), apesar de os veículos elétricos estarem sendo cada vez mais aplicados no TUC, ainda há barreiras que dificultam sua larga expansão. A tabela 5.1 cita os principais desafios.

Tabela 5.1 Limitações da utilização de veículos elétricos de carga

Quanto à/ao	Limitações
Mercado	Alto custo de aquisição
	Pequeno mercado de segunda mão
	Pequena variedade de modelos de veículos
	Pouco ou nenhum suporte pós-venda
	Manutenção especializada
Tecnologia	Alto tempo de espera por peças
	Alto tempo de recarga
	Baixa autonomia
	Baixa velocidade do veículo
Infraestrutura	Limitação de carga útil
	Necessidade de investimento em infraestrutura
	Alto custo de infraestrutura

Fonte: Elaboração própria com base em Quak (2016)

Melo *et al.* (2014) também cita como desafios para implantação de veículos elétricos de carga na frota do TUC os altos custos de aquisição de veículos, a manutenção especializada e o mercado pequeno, além de falar sobre o número insuficiente de instalações de abastecimento que tem por consequência a necessidade de investimento em infraestrutura. Boer *et al.* (2013) acredita que a maior questão é a infraestrutura para carregar estes veículos.

A seguir será feita uma análise dos desafios encontrados por estes autores.

5.1 Os desafios quanto ao Mercado:

Atualmente, o alto preço de aquisição impede que veículos elétricos de carga possam competir com veículos convencionais.

Quak *et al.* (2016) acreditava que o custo adicional do uso de veículos elétricos poderia ser repassado no preço para o consumidor, mas, em seu estudo, pôde perceber que são poucos os que estão dispostos a pagar algo a mais para ter um transporte sustentável de suas mercadorias. Sob o ponto de vista do operador do transporte, acredita-se que a adoção de veículos com tecnologia de zero emissão não seria problema se o mesmo estiver atento às experiências bem-sucedidas de outras empresas e, principalmente, ao tempo de retorno dos investimentos (Boer *et al.*, 2013). Não é um retorno imediato, mas as vantagens tendem a aparecer com o tempo.

Apesar dos custos de aquisição de veículos elétricos ainda serem altos, seus custos de manutenção se mostram significativamente menores (20-30%) do que os dos veículos convencionais (Pelletier *et al.*, 2014). Isso ocorre devido às características de seu sistema de propulsão que emprega um número reduzido de peças.

Como o mercado de veículos elétricos de carga está ainda no começo de seu desenvolvimento, ficam afetados vários fatores tais como a pouca variedade de modelos, com o propósito controlar os custos de estoque em níveis mais condizentes com o momento. Os veículos de carga elétricos ainda dispõem de pouco, ou até mesmo nenhum, suporte pós-venda, oficinas para reparos, ou trocas de peças. Apesar da manutenção desses veículos ser simples e mais barata, o mercado de peças é afetado por limitações características do pioneirismo tais como a baixa disponibilidade nos estoques que ocasiona alta espera por peças avulsas.

A pequena utilização de veículos elétricos e seu curto tempo de atuação no mercado dificultam a disponibilidade para se adquirir veículos de segunda mão. O uso desse tipo de veículo poderia reduzir a atual barreira de entrada do alto preço de novos veículos elétricos de carga.

Feng e Figliozzi (2012) acreditam que, se os preços dos veículos elétricos de carga diminuírem entre 10 e 30%, os veículos elétricos de carga poderiam se tornar mais competitivos e declaram que um fator que deve contribuir para a queda significativa dos preços dos veículos elétricos de carga é o desenvolvimento de tecnologias para produzir baterias mais baratas. Efetivamente, Boer *et al.* (2013) estimam que o custo das baterias deverá cair em mais de 70% até 2030 e que, em grande parte por este fator, os caminhões elétricos deverão apresentar uma queda de 50% em seu preço, no mesmo horizonte de tempo. Além disso, espera-se que haverá queda de preço dos veículos elétricos deve acontecer devido à economia de escala, oriunda do aumento da produção destes veículos com o tempo.

Tran *et al.* (2013) apontam que veículos híbrido-elétricos não se apresentarão como concorrentes pela atenção do consumidor, como houve em seu surgimento visto no item 3.2.1, ao invés disso, eles deverão ser utilizados na transição para veículos exclusivamente elétricos, até que as baterias se tornem mais baratas. Alguns consumidores podem sentir, inicialmente, insegurança no uso de veículos elétricos por

não dominar a tecnologia, mas com a transição com veículos híbridos, ela tende a ser minimizada.

Em outra vertente, também favorável, considerando-se a consolidação da conscientização ambiental pelo mundo, impulsionada por acordos mundiais que visam frear o avanço das mudanças climáticas, acredita-se que as empresas que realizam o transporte de cargas poderão adotar veículos elétricos em sua frota como uma estratégia de *marketing*, podendo alavancar seu crescimento no mercado, divulgando sua empresa como promotora da sustentabilidade ambiental.

No Brasil, o preço de veículos elétricos de carga é ainda mais elevado, já que não há nem indústria que os produza localizada no país, muito menos com produção em larga escala. Contribuem também para esta situação indesejável os custos de importação e as altas taxas tributárias brasileiras. Vaz *et al.* (2015) apresenta sugestões de políticas públicas para o segmento de veículos híbridos e elétricos, dentre as quais encontra-se, para veículos de carga, a criação de um subsídio às baterias e criação de mecanismos de depreciação acelerada de caminhões elétricos. Este autor também mostra que a adoção de subsídios é utilizada como prática recorrente em diversos países do mundo, sobretudo ao transporte individual de passageiros.

Considera-se que com o crescimento do mercado, esses desafios de mercado serão vencidos pouco a pouco.

5.2 Os desafios quanto à Tecnologia:

Como os veículos elétricos apresentam composição muito distinta em relação aos veículos convencionais, sua manutenção necessita de uma mão de obra especializada em sistemas elétricos. Devido à baixa complexidade, seu preço tende a ser inferior, como visto no item 5.1. Considerando o crescimento do mercado, haverá conseqüente aumento no número de especialistas neste tipo de veículo por crescimento da demanda por esta função.

Como visto no item 3.1.2, o desempenho de veículos elétricos vem da capacidade de sua bateria. Segundo Quak *et al.* (2016), o desenvolvimento de baterias mais confiáveis e de melhor desempenho é considerado crucial para todos os tipos de veículos elétricos, de forma a se tornarem competitivos, com relação a veículos convencionais. Assim,

devido à dificuldade de inserção desses veículos no mercado, espera-se que haja estímulo ao desenvolvimento de baterias de forma a potencializar a utilização de veículos elétricos.

As baterias atualmente disponíveis para os veículos elétricos de carga possuem densidade energética muito inferior em relação à dos caminhões movidos a combustíveis convencionais. Logo, a baixa quantidade de energia possível de ser armazenada limita o uso de veículos elétricos a distâncias até onde a bateria é capaz de fornecer energia. Assim, a baixa autonomia destes veículos de carga elétricos é uma real limitação. Porém, quando estes veículos elétricos de carga são inseridos no segmento adequado, sua capacidade é otimizada. Conforme o item 4.3, percebe-se que esta otimização acontece quando os veículos elétricos de carga são utilizados para a distribuição física em centros urbanos, sobretudo em operações com muitas paradas que potencializa o mecanismo de frenagem regenerativa.

Outra limitação desta categoria de veículos é sua baixa velocidade alcançada. Entretanto, na maioria das vezes, esta limitação perde maior impacto na operação em centros urbanos que não permitem altas velocidades. O que era uma limitação torna-se vantagem, pois com a restrição de velocidade, espera-se que a carga será transportada com maior segurança.

Como as baterias impactam significativamente na massa dos veículos elétricos, eles possuem um limite baixo quanto à capacidade de carga, em termos de massa. Então, até que haja um aperfeiçoamento quanto à massa das baterias, o uso de veículos elétricos é favorável ao transporte de cargas mais leves e volumosas.

Logo, quando aplicados ao segmento ideal da cadeia de suprimentos, a distribuição física, segundo as análises da pesquisa realizada no capítulo 4 deste estudo, as limitações tecnológicas desses veículos podem ser vistas como oportunidades.

5.3 Os desafios quanto à Infraestrutura:

Como veículos elétricos à bateria necessitam ser recarregados na rede elétrica, demandam uma infraestrutura com locais adequados nos quais a energia da rede possa ser transmitida ao banco de baterias do veículo com segurança.

Boer *et al.* (2013) afirma que o custo de infraestrutura de recarga por veículo deve ser mais baixo para veículos de carga do que para veículos de passageiro, devido à maior

concentração de veículos por estação de recarga, além das menores preocupações inerentes a esta operação. Empresas que realizam o transporte de cargas devem investir em centros de recarga considerando o tamanho de sua frota e o tempo de recarga de cada veículo. Acredita-se que uma situação ideal ocorre quando a recarga localiza-se no mesmo local do carregamento do veículo em centros de consolidação de carga.

Boer *et al.* (2013) sugere também que governo e indústrias deveriam realizar parcerias a fim de diluir os riscos e os benefícios do desenvolvimento da infraestrutura.

Uma vez que já existe um centro de recarga, o mesmo pode ser ampliado. Pelletier *et al.* (2014) aponta que, para uma infraestrutura de recarga já existente, é possível ser feito um investimento em carga adicional no caso de se suceder uma ampliação de grande porte na frota de veículos elétricos.

Como uma inovação tecnológica que poderia resolver a limitação decorrente da infraestrutura, Beise e Rennings (2005), explicam que, potencialmente, a recarga pode ser feita por meio de painéis fotovoltaicos acoplados ao veículo. Caso isso não seja possível, considera-se o uso de painéis solares no telhado de centros de recarga. Esta alternativa tecnológica poderia ser altamente considerada no Brasil por este ser um país com alta incidência de raios solares na maior parte do ano.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi feita uma contextualização dos veículos transporte rodoviário de cargas no Brasil identificando a classificação e divisão da frota, as fontes de energia utilizadas no Brasil e seus danos no meio ambiente, por meio do qual se percebeu que o impacto das emissões poderia ser significativamente reduzido com o uso de veículos com zero emissão. Além disso, houve uma breve descrição da atividade do transporte urbano de cargas e das operações da cadeia de suprimentos.

Com o conhecimento dos tipos de veículo elétrico, das características do sistema de propulsão elétrico, do desenvolvimento de baterias e a fonte de energia elétrica, possibilitou-se a identificação das particularidades e limitações do funcionamento de veículos elétricos.

Identificou-se a origem e a evolução histórica de veículos elétricos num contexto mundial e, posteriormente, num contexto brasileiro dando ênfase em veículos de carga. Assim, entende-se o porquê das tentativas anteriores de sua inserção no mercado fracassarem. Esse conhecimento permite que não se repitam os erros do passado e que se possa pensar em alternativas às barreiras históricas ao uso desses veículos.

Por meio de uma revisão bibliográfica sistemática, verificaram-se as características do perfil dos veículos elétricos de carga quanto à classe dos veículos, autonomia, consumo e operação indicada (coleta, distribuição ou transferência). Esta pesquisa traça o perfil atual desses veículos sendo, portanto, recomendada sua atualização periódica. Identificaram-se também os países têm estudado essa tecnologia.

Viu-se que a utilização de veículos elétricos de carga no transporte urbano de cargas enfrenta diversos desafios relacionados ao mercado, tecnologia e infraestrutura. Com o desenvolvimento de tecnologias mais baratas poderiam tornar os veículos elétricos mais competitivos em relação a veículos convencionais, alavancando suas vendas. Grande parte dos desafios está relacionada ao mercado ainda incipiente. O Brasil poderia estudar formas de produzir veículos elétricos de cargas, pois esta prática reduziria o custo no país e seu posterior uso pode trazer benefícios aos centros urbanos.

Sabe-se que no Brasil, só haverá investimento em infraestrutura se houve uma necessidade iminente. A sugestão de uso de painéis solares tem um grande potencial de utilização do Brasil, país com alta incidência solar.

Este estudo pode, portanto, colaborar para a tomada de decisão de empresas que atuam na área do transporte de carga, tendo em vista que o uso de veículos elétricos é capaz de contribuir como solução das questões ambiental e social do transporte de carga, no que diz respeito às emissões de CO₂, poluentes locais e poluição sonora e irritabilidade da população com os veículos de carga convencionais, demonstrando, assim a contribuição deste estudo.

Este estudo limita-se a veículos elétricos à bateria, por isso recomenda-se o estudo de outros veículos alternativos tais como veículos a hidrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANFAVEA, 2015. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em 10 nov. 2015.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis : 2015 / Rio de Janeiro
- Auto Green Mag (2016) Disponível em: <http://autogreenmag.com/tag/electric-delivery-truck/> Acesso em 07.03.2016
- Bakker, S., and Van Lente, H. (2009) 'Fuelling or Charging Expectations? – A Historical Analysis of Hydrogen and Battery-Electric Vehicle Prototypes', EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Unpublished Conference Paper, Norway, May 13–16.
- Baran, R. A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. Rio de Janeiro: UFRJ/Coppe, 2012.
- Bellis, M. History of electric vehicles. 2014. Disponível em: <<http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm>>. Acesso em: 18 set. 2014.
- Bereton, Pearl; Kitchenham, Barbara A.; Budgen, David; Turner, Mark; Khalil, Mohamed. 2007. Lessons from Applying the Systematic Literature Review Process within the Software Engineering Domain. The Journal of System and Software, v. 80, p.571-583. Doi:10.1016/j.jss.2006.07.009
- Boer, E. den; S. Aarnink, F. Kleiner e J. Pagenkopf (2013) *Zero emissions trucks An overview of state-of-the-art technologies and their potential Delft*, CE Delft. Commissioned by: The International Council for Clean Transportation (ICCT).
- Bosch. Manual de Tecnologia Automotiva. Tradução da 25ª edição alemã. Editora Edgard Blücher, 2004.
- Browne, M., J. Allen e J. Leonardi (2011) Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London. ATSS Research 35 (2011) 1–6 doi:10.1016/j.iatssr.2011.06.002
- Charged Electric Vehicles magazine (2016). Disponível em: <https://chargedevs.com/newswire/electric-road-powers-scania-trucks-in-real-world-trial/> Acesso em: 07.03.2016
- D'Agosto, M. A. (2015) *Transportes, uso de energia e impactos ambientais – Uma abordagem introdutória* – 1ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015
- Davis, B.A. e M. A. Figliozzi. (2013). *A methodology to evaluate the competitiveness of electric delivery trucks*. Transportation Research Part E 49, pp.8-13. doi: 10.1016/j.tre.2012.07.003
- Deflorio, F. and L. Castello (2015) Traffic Modeling of a Cooperative Charge While Driving System in a Freight Transport Scenario. Transportation Research Procedia 6 325 – 350 doi: 10.1016/j.trpro.2015.03.025

- Deflorio, F., P. Guglielmi, I. Pinna, L. Castello e S. Marfulla (2015) Modeling and analysis of wireless “Charge While Driving” operations for fully electric vehicles. *Transportation Research Procedia* 5 161 – 174 doi: 10.1016/j.trpro.2015.01.008
- Dijk, M., 2011. Technological frames of car engines. *Technology in Society* 33,165–180.
- Dijk, M., R. Orsato and R. Kempc. (2013). The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy* 52 (2013) 135–145
- EPE, 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional – 2015. Ano Base 2014, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil, 2015.
- EPE. Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte 1970-2010 - PDE 2021- 2012 Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil, 2012.
- Feng, W. e M. A. Figliozzi. (2012). *Conventional vs electric commercial vehicle fleets: A case study of economic and technological factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles in the USA*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 39, pp. 702-711.
- Feng, W. e M. Figliozzi (2013) An economic and technological analysis of the key factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles: A case study from the USA market. *Transportation Research Part C* 26 (2013) 135–145 <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2012.06.007>
- Foltyński, M. (2014) Electric fleets in urban logistics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 151 48 – 59 doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.007
- G1 (2014) Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Carros/0,,MUL1283239-9658,00IVECO+APRESENTA+O+PRIMEIRO+CAMINHAO+ELETRICO+DA+AMERICA+LATINA.html> Acesso em: 07.03.2016
- Gouveia, N., G. A. S. Mendonça, A. P. Leon, J. E. M. Correia, W. L. J., C. U. Freitas, R. P. Daumas, L. C. Martins, L. Giuseppe, G. M. S. Conceição, A. Manerich e J. C. Cruz (2003) Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiologia e Serviços de Saúde* 12, pp. 29 – 40.
- Günther, H. O., M. Kannegiesser e N. Autenrieb (2015) The role of electric vehicles for supply chain sustainability in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production* 90 (2015) 220e233 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.058>
- Hoogma, R., Kemp, R., Schot, J., Truffer, B. (2002). *Experimenting for Sustainable Transport. The Approach of Strategic Niche Management*. London, EF&N Spon.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/>.
- Iwan, S., K. Kijewska e D. Kijewski (2014). *Possibilities of Applying Electrically Powered Vehicles in Urban Freight Transport*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 151, pp. 87-101. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.010

- Leonardi, J., M. Browne e J. Allena (2012) Before-after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: A case study in London. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 39 (2012) 146 – 157 doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.097
- Löfstrand, S., J. Hellgren, N. Thulin, H. Engdahl *et al.*, (2013) *Feasibility of Electrifying Urban Goods Distribution Trucks*. *SAE Int. J. Commer. Veh.* 6 v. 1, p. 24-33, doi:10.4271/2013-01-0504
- Margaritis, D., A. Anagnostopoulou, A. Tromaras e M. Boile (2016) Electric commercial vehicles: Practical perspectives and future research directions. *Research in Transportation Business & Management* 18 (2016) 4–10 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2016.01.005>
- Matulka, R. The History of the Electric Car. *Energy.gov*, 15. set. 2014. Disponível em: <<http://energy.gov/articles/history-electric-car>>. Acesso em: 25 nov. 2014.
- MCT (2004). Ministério da Ciência e Tecnologia (Ministry of Science and Technology), 2004. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de referência para emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas, Brasília.
- MMA, 2011. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- MMA, 2013. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- Mom, G. (1998) *The Electric Truck in America: Why Did It Fail?* SAE Technical Paper 980618, doi:10.4271/980618.
- Nieuwenhuis, P., Wells, P., 1997. *The death of motoring?*, Car making and automobility in the 21st century. Wiley, Chichester (UK).
- Oliveira, C. M., M. A. D'Agosto, A. L. D., Mello, F. S. Gonçalves, D. S. N. Gonaçalves e F. C. Assumpção (2015) Identificando os desafios e as boas práticas para o transporte urbano de cargas, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática. XXIX Congresso ANPET, Ouro Preto.
- Oltra, V., Saint Jean, M., 2009. Variety of technological trajectories in low emission vehicles (LEVs): A patent data analysis. *Journal of Cleaner Production* 17 (2), 201–213.
- Paddeu, D., P. Fadda, G. Fancello, G. Parkhurst e M. Ricci (2014) Reduced urban traffic and emissions within urban consolidation centre schemes: The case of Bristol Transportation Research *Procedia* 3 508 – 517 doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.032
- Pellentier, S.; O. Jabali, G. Laporte e Cirrelet (2014) *Battery Electric Vehicles for Goods Distribution: a survey of vehicle technology, Market penetration, incentives and practices*. Cirrelet Report, Montreal, Canadá.
- Pinterest (2016). Disponível em: <https://www.pinterest.com/pin/85146249176391428/> Acesso em:

07.03.2016

- Quak, H., N. Nesterova and T. Rooijen (2016) Possibilities and barriers for using electric-powered vehicles in city logistics practice. *Transportation Research Procedia* 12 157 – 169 doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.055
- R. Kemp, Zero emission vehicle mandate in California. Misguided policy or example of enlightened leadership? in: C. Sartorius, S. Zundel (Eds.), *Time Strategies, Innovation and Environmental Policy*, Edward Elgar, Cheltenham, UK, 2005.
- Renault Trucks Deliver (2016). Disponível em: <http://corporate.renault-trucks.com/en/press-releases/2015-02-23-the-french-poste-office-and-renault-trucks-jointly-test-a-hydrogen-powered-truck-running-on-a-fuel-cell.html>. Acesso em 15.03.2016
- Rizet, C., C. Cruz and M. Vromantc (2016) The Constraints of Vehicle Range and Congestion for the Use of Electric Vehicles for Urban Freight in France *Transportation Research Procedia* 12 500 – 507 doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.005
- Rouboutsos, A., S. Kapros e T. Vanelander (2014) Green city logistics: Systems of Innovation to assess the potential of E-vehicles *Transportation Business & Management* 11 (2014) 43–52 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.06.005>
- Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O.lah, A. Mckinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, (2014): *Transport. In: Climate Change: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Sperandio, M., J. Saldanha e J. Basso, C. (2012) O impacto dos veículos elétricos plug-in no sistema de transmissão. In: XIX Congresso Brasileiro de Automática. Campina Grande, 2-6 set. 2012. Disponível em: Automotivo <<http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2012/Artigos/100243.pdf>>. 343
- Suksri, J. e Raicu, R. Developing a conceptual framework for the evaluation of urban freight distribution initiatives. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 39, p. 321 – 332, 2012.
- Thomas, C. E. S. (2012) “How green are electric vehicles?” *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 37, p. 6053-6062.
- Tran, M., D. Banister, J. D.K. Bishop e M. D. McCulloch (2013) Simulating early adoption of alternative fuel vehicles for sustainability. *Technological Forecasting & Social Change* 80 (2013) 865–875 <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2012.09.009>
- USPS – United States Postal Service. Electric Vehicles in the Postal Service. 2014. Disponível em: <<https://about.usps.com/who-we-are/postal-history/electric-vehicles.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2014.
- Vaz, L. F. H.; Barros, D. C.; Castro, B. H. R. C. (2015) Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas

públicas para o segmento. Automotivo. BNDES Setorial, v.41, p.295-344.

Wakefield, E.H., 1998. History of the Electric Automobile: Hybrid Electric Vehicles. Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, PA, USA.

World Energy Resources, 2014

Yarime, M., 2009. Public coordination for escaping from technological lock-in: its possibilities and limits in replacing diesel vehicles with compressed natural gas vehicles in Tokyo. Journal of Cleaner Production 17 (14), 1281–1288.