

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DO CENÁRIO MUNDIAL DO VE E OS
DESAFIOS DA SUA INSERÇÃO NA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Karin Rezende Feistel

Santa Maria, RS, Brasil

2016

ANÁLISE DO CENÁRIO MUNDIAL DO VE E OS DESAFIOS DA SUA INSERÇÃO NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Karin Rezende Feistel

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Sistemas de Energia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica.**

Orientador: Prof. Dr. Alzenira da Rosa Abaide

Santa Maria, RS, Brasil

2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FEISTEL, Karin Rezende
ANÁLISE DO CENÁRIO MUNDIAL DO VE E OS DESAFIOS DA SUA
INSERÇÃO NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA / Karin Rezende
FEISTEL.-2016.
85 p.; 30cm

Orientadora: Alzenira da Rosa Abaide
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, RS, 2016

1. Veículo Elétrico 2. Impacto Ambiental 3. Matriz
Energética I. Abaide, Alzenira da Rosa II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Karin Rezende Feistel. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Av. Roraima 1000, Prédio 47, 8º Andar, Sala 809, Santa Maria, RS, 97105-900

Fone: 55 3222 1516; Endereço Eletrônico: karin.feistel@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DO CENÁRIO MUNDIAL DO VE E OS DESAFIOS DA SUA
INSERÇÃO NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**

elaborada por
Karin Rezende Feistel

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica

COMISSÃO EXAMINADORA:

Alzenira da Rosa Abaide, Dr.Eng
(Presidente/Orientador)

Luciane Neves Canha, Dr. Eng. (UFSM)

Jocemar Biasi Parizzi, Dr. Eng. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 18 de Março de 2016.

*Dedico este trabalho
ao meu amigo, colega de quarto, companheiro e amor da minha vida,
Luccas Matiuzzi Kunzler.*

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças ao apoio de amigos e colegas, que de alguma forma me ajudaram a finalizá-lo. Com carinho e consideração agradeço:

Primeiramente à Deus, pelas infinitas oportunidades de realização pessoal e profissional.

À professora Alzenira da Rosa Abaide, pela orientação e dedicação e paciência neste período, e pelo constante entusiasmo apresentados nas discussões do trabalho.

Aos amigos que a Engenharia trouxe: Camilla Leimann Pires, Candice Pase, Paula Kruse e Rodrigo Krug. Aos amigos de longa data pelo incondicional apoio e constantes preocupações a respeito do andamento do trabalho: Alexandre Dalla Favera, Gabriela Sikacz, Matheus Carazzo, Rafael Pereira, Rafael Machado e Vinícius Jensen.

À família Ana Carolina, Camila, Jorge, Mara e Vinícius Kunzler. Aos meus avós Sony e Alberto, por todo o apoio.

À família que ganhei em 2014, que fazem qualquer problema ser esquecido em uma hora de risadas durante o almoço, e qualquer guerra terminar em vitória: Gabriela Mallmann, Gabriella Maior, Gustavo Réquia, Juliane Milano, Márcio Pimenta, Mariúsa Gall e Tanise Finamor.

À minhas irmãs de coração, um dos melhores presentes que recebi, são muito mais que colegas de trabalho ou amigas; vocês me fizeram questionar meus planos de vida, por não saber como vou suportar a distância e arriscar “perder a intimidade”: Ana Carolina Romano (Pena), Julianna Alves Spall Lopes e Tatiana Teixeira dos Santos.

Aos meus pais, Graça e Paulo, pela base e estrutura que me forneceram durante toda vida, além das intermináveis cobranças a respeito da minha vida acadêmica e à minha companheira de todos os momentos e dificuldades: Amy. Sem ti a vida seria muito menos emocionante.

À pessoa mais importante que já cruzou meu caminho, que me proporcionou tantos momentos de felicidade e realização pessoal; que comemorou comigo minhas vitórias e chorou minhas derrotas, e sempre esteve ali pra me ajudar a levantar e seguir em frente, sem nunca deixar de me cobrar para que eu atinja os meus, e agora nossos, objetivos, dando sempre o melhor de mim e sempre me oferecendo o melhor dele. Tu passou comigo por todas as etapas, sendo o amigo, o namorado e agora o noivo mais perfeito que eu podia esperar. Gordo, muito obrigada por tudo que tu já me proporcionou.

*“We keep moving forward, opening new doors, and doing new things.
Because we’re curious, and curiosity keeps leading us down new paths.”*

Walt Disney

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE DO CENÁRIO MUNDIAL DO VE E OS DESAFIOS DA SUA INSERÇÃO NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

AUTOR: KARIN REZENDE FEISTEL

ORIENTADOR: PROF. DR. ALENIRA DA ROSA ABAIDE

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 18 de Março de 2016.

Este trabalho visa analisar a situação atual dos veículos elétricos no mundo, considerando os fatores que auxiliaram sua inserção no mercado mundial e as principais políticas de incentivo a esta tecnologia. Com base nesta análise, é realizada uma previsão na qual os veículos elétricos são inseridos no mercado brasileiro, através de resultados de simulação utilizando o Método de Monte Carlo, conhecido e difundido. Para tanto, duas cidades serão comparadas, um pólo de desenvolvimento e diversidade nacional, São Paulo, e a cidade conhecida como a Capital do Veículo Elétrico, Oslo, da qual serão extraídas as informações que servirão de base para a simulação e estimativa do impacto na matriz energética brasileira. Com esta previsão, também é possível avaliar o impacto que a substituição dos veículos movidos à gasolina por veículos elétricos traria para o meio ambiente. Além disso, uma análise de impacto energético na matriz brasileira é discutida e avaliada.

Palavras-chave: Veículo Elétrico. Impacto Ambiental. Matriz Energética.

ABSTRACT

Master Thesis
Electrical Engineering Post Graduation Program
Federal University of Santa Maria

ANALYSIS OF THE EV WORLD SCENARIO AND ITS INTEGRATION CHALLENGES IN BRAZILIAN ENERGY MATRIX

AUTHOR: KARIN REZENDE FEISTEL

RESEARCH SUPERVISOR: PROF. DR. ALZENIRA DA ROSA ABAIDE
Santa Maria, March 18th, 2016.

This work aims to analyze the current situation of electric vehicles in the world, considering the factors that assisted their insertion in the world market and the public policies that are used to encourage this technology. Based on this analysis, is performed a prediction of a scenario in which electric vehicles are inserted in the Brazilian market through simulation results using the Monte Carlo Method a known and widespread mathematical method. Therefore, two cities are compared, a national pole of development and diversity, Sao Paulo, and the city known as the Capital of Electric Vehicle, Oslo, which will provide the information that will be used as a basis for the simulation. With this forecast, it is possible to predict an estimative of the environmental impact that replacing gasoline-powered vehicles for electric vehicles would bring to the environment. Furthermore, an analysis of energy impact in the Brazilian matrix is discussed and evaluated.

Keywords: electric vehicle, environmental impact, energy matrix.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Variação do preço dos barris de petróleo em função de eventos históricos, adaptada de (IEA, 2014)	29
Figura 2 – Mortes causadas por consequência da poluição, adaptada de (EVCC, 2014)	30
Figura 3 – Consumo mundial de petróleo por setor em 1973, adaptada de (WBSCD, 2014)	30
Figura 4 – Consumo mundial de petróleo por setor em 2013, adaptada de (WBSCD, 2014)	31
Figura 5 – Número de veículos e estações de carregamento em diversos países, adaptada de (GEVO, 2015)	34
Figura 6 – Expectativa das emissões de CO2 até o ano de 2050, adaptada de (EVCC, 2014)	38
Figura 7 – Investimentos em VE entre 2008 e 2014 por categoria, adaptado de (GEVO, 2015)	39
Figura 8 – Percentual de participação no mercado mundial de VE, adaptado de (GEVO, 2015)	39
Figura 9 – Crescimento e valor das vendas mundiais de VE entre 2010 e 2014, adaptado de (GEVO, 2015)	40
Figura 10 – População e migrações urbanas no Brasil entre 1950 e 2010, adaptada de (IBGE, 2015)	42
Figura 11 – Evolução da frota de veículos públicos e individuais, adaptada de (DENATRAN, 2015)	43
Figura 12 - Emissões de CO2 em função do tipo de combustível em 1973 e 2013, adaptada de (IEA, 2014)	46
Figura 13 – Evolução da emissão de poluentes entre 1971 e 2013 por tipo de combustível, adaptada de (IEA, 2014)	47
Figura 14 – Evolução da emissão de poluentes entre 1971 e 2013 por tipo de setor, adaptada de (IEA, 2014)	47
Figura 15 – Diagrama da aplicação do Método de Monte Carlo, adaptada de (LIMA, 2012)	51
Figura 16 – Princípio da Simulação do Método de Monte Carlo, adaptada de (CAPURUÇU E CAPRETZ, 2012)	52
Figura 17 – Diagrama de Blocos da Aplicação do MMC no Estudo Proposto	54
Figura 18 – Aplicação do MMC no Estudo Proposto	59
Figura 19 – Evolução da capacidade instalada de usinas hidroelétricas (ANEEL, 2002)	65
Figura 20 - Matriz de oferta de potência de energia elétrica Brasileira, por categoria, adaptada de (MME, 2015)	66

.....
Figura 21 - Matriz de oferta de potência de energia elétrica Brasileira, por tipo de
energia, adaptada de (MME, 2015)

66

.....
Figura 22 – Licenciamento de veículos em alguns países entre 2004 e 2013, adaptada
de (ANFAVEA, 2015)

70
.....

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Crescimento do número de veículos no Japão, EUA, Alemanha e Coréia do Sul entre 1960 e 2002, adaptada de (Dargay et al., 2007)	44
Gráfico 2 – Crescimento do número de veículos no Brasil, China, Índia e Coréia do Sul entre 1960 e 2002, adaptada de (Dargay et al., 2007)	44
Gráfico 3 – Frequência Estimada da % de NVPH na cidade de São Paulo	61
Gráfico 4 - Curva de Distribuição Triangular da segunda variável.....	61
Gráfico 5 - Frequência Estimada de veículos inseridos em São Paulo	63
Gráfico 6 - Emissão Total Brasileira em Mt CO ₂ por setor em 2014, adaptada de (EPE, 2015)	67
Gráfico 7 - Análise da carga de pico com a inserção dos VEs na cidade de São Paulo	69
Gráfico 8 - Perspectiva futura do crescimento dos carros de passeio no Brasil (ABVE, 2015)	70
Gráfico 9 - Perspectiva futura do crescimento dos VEs no Brasil	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissões de CO ₂ por número de veículos (INMETRO, 2014)	56
Tabela 2 - Quantidade de recargas necessárias para o VE percorrer a mesma distância que o VMG é capaz (RENAULT, 2015) (FIAT, 2015)	58
Tabela 3 - Custo de Carregamento do VE na cidade de Oslo, considerando a média de direção do motorista brasileiro (SBB, 2015)	58
Tabela 4 - Cenários possíveis para a inserção dos VEs.....	60
Tabela 5 - Número de habitantes e de veículos.....	60
Tabela 6 - Número de veículos por habitante.....	60
Tabela 7 - Determinação do NVPH.....	61
Tabela 8 - Resultados obtidos através da implementação do MMC divididos em vinte intervalos.....	62
Tabela 9 - Simulação do Número de Veículos em São Paulo.....	63
Tabela 10 - Redução das Emissões de CO ₂	64
Tabela 11 - Consumo mensal energético do VE (RENAULT, 2015)	67
Tabela 12 - Perspectiva do número de VEs Registrados segundo ABVE (ABVE, 2015)	71
Tabela 13 - Projeção da Oferta Interna de Energia (em GWh) (MME, 2007).....	73

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileiro de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGI	Capacidade de Geração Instalada
CO ₂	Dióxido de Carbono
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
MMC	Método de Monte Carlo
NOK	Coroa Dinamarquesa
NVPH	Número de Veículos por Habitante
ONS	Operador Nacional do Sistema
PIB	Produto Interno Bruto
USD	Dólar Americano
V2G	Veículo para Rede
VE	Veículo Elétrico
VMG	Veículo Movido à Gasolina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	JUSTIFICATIVA	29
1.2	OBJETIVO	30
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2	VEÍCULO ELÉTRICO: UMA ALTERNATIVA	31
2.1	ORIGEM DO VEÍCULO ELÉTRICO DO MUNDO	33
2.2	O VEÍCULO ELÉTRICO NO MUNDO.....	36
2.3	SITUAÇÃO DO VE NO BRASIL	42
2.3.1	A Frota De Veículos Brasileira	43
2.3.2	Utilização do VE	47
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	50
3	O MÉTODO DE MONTE CARLO	51
3.1	MÉTODO DE MONTE CARLO	51
3.2	FUNCIONAMENTO E APLICAÇÃO	53
3.2.1	Exemplo de Aplicação	54
3.3	APLICAÇÃO NO ESTUDO PROPOSTO	55
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	56
4	METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA	57
4.1	VMG SELECIONADO	57
4.2	VE SELECIONADO	58
4.3	ESTUDO COMPARATIVO	59
4.4	APLICAÇÃO DO MMC	61
4.4.1	Definição das Variáveis	61
4.4.2	Implementação do MMC	64
4.4.3	Resultados de Simulação	65
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	66
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	67
5.1	IMPACTO NA ENERGIA CONSUMIDA.....	69
5.2	IMPACTO NA POTÊNCIA DEMANDADA	70
5.3	CENÁRIO 2030.....	71
5.3.1	Perspectivas para o VE no Brasil	71
5.3.2	Perspectivas do Consumo no Sistema Brasileiro	74
5.4	POLÍTICAS DE INCENTIVO AO VE NO BRASIL.....	75
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
6.1	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	78
6.2	ARTIGOS VINCULADOS AO TRABALHO DESENVOLVIDO	79
7	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a poluição ambiental é uma das principais preocupações da sociedade moderna. Isto se deve à quantidade de doenças que estão a ela ligadas, além da constante deterioração do meio ambiente. Esta questão, portanto, se torna cada vez mais discutida e abordada. Por essa razão, tecnologias que auxiliem na prevenção da emissão de gases poluentes na atmosfera, são cada vez mais visadas e os investimentos em seu desenvolvimento são cada vez mais elevados.

Um dos setores que mais impacta na emissão de gases poluente, é o setor de transportes, o qual, em sua maioria, utiliza combustíveis fósseis como fonte de geração de energia. Este setor apresentou um crescimento muito elevado com o decorrer dos anos, e com o recente crescimento econômico dos países em desenvolvimento, em destaque o Brasil, a frota de veículos pessoais também cresceu consideravelmente, aumentando o número de gases poluentes emitidos diariamente para a atmosfera. Além disso, o custo dos combustíveis fósseis está cada dia mais elevado, uma vez que sua demanda aumenta e em contrapartida, sua oferta diminui. Uma nova opção de transporte deve ser então, inserida no mercado, a fim de que seja possível a redução de poluentes à atmosfera.

Dentro deste ideal de tecnologias inovadoras e não poluentes, se destaca o veículo elétrico (VE). Esta opção de transporte, não é tão inovadora assim, uma vez que já houveram tentativas de fazer sua imersão no mercado automobilístico, as quais não obtiveram tanto sucesso, uma vez que era e ainda é uma tecnologia que requer altos investimentos. Apesar disso, seu potencial de preservação ambiental, no que diz respeito a sua utilização, vale o investimento necessário, e por esta razão vem sendo utilizado em diversos países do mundo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante das atuais preocupações da sociedade moderna frente à poluição do meio ambiente e a iminente escassez de combustíveis fósseis, se faz necessária a inserção de novas tecnologias que satisfaçam tanto estas preocupações quanto as necessidades particulares desta sociedade. A utilização do veículo elétrico ao redor do mundo, tem demonstrado o seu potencial de redução da emissão de poluentes.

Opta-se então, por avaliar a utilização desta tecnologia no cenário mundial, a fim de prever o impacto que a inserção do veículo elétrico representaria em um país de dimensões continentais, principalmente no âmbito ambiental.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo fazer uma análise das principais regiões do mundo em que o veículo elétrico está inserido no mercado e prever como se daria essa inserção no mercado brasileiro. Para tanto, serão utilizados como base, dados reais de regiões em que o veículo elétrico já está completamente imerso no mercado. Com estes resultados, uma avaliação do impacto que esta tecnologia traria ao meio ambiente e seu impacto na matriz energética brasileira, devem ser brevemente discutidos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

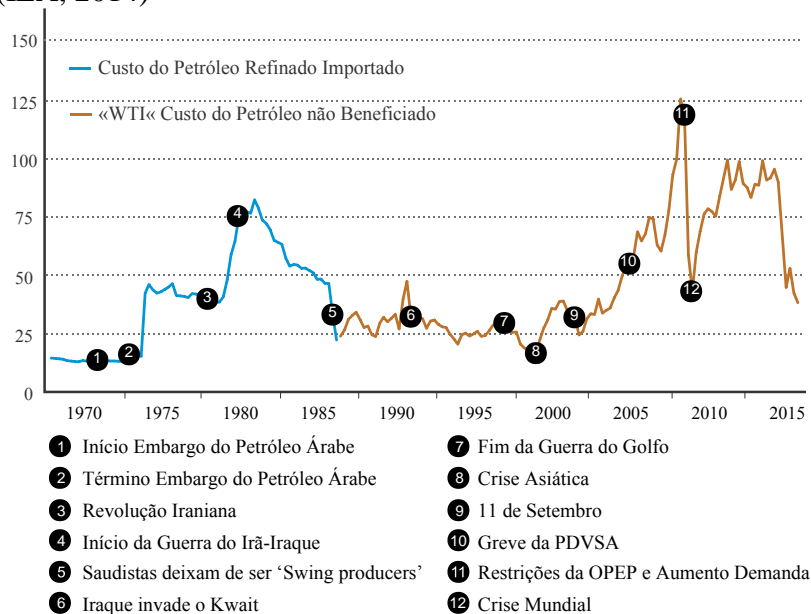
O capítulo 2 apresenta a um breve levantamento histórico do consumo de combustíveis fósseis e a frota de veículos brasileira e introduz o tema do veículo elétrico. O capítulo 3 apresenta a história do VE e suas origens. Além disso é introduzido o Método de Monte Carlo e sua aplicabilidade neste trabalho. O capítulo 4 apresenta a atual realidade do VE em diversos países, incluindo a Noruega e Brasil e as cidades de Oslo e São Paulo. No capítulo 5 apresentam-se as definições de veículos que serão estudados e as variáveis para a simulação do número de veículos a serem substituídos em São Paulo, através da simulação utilizando o MMC. No capítulo 6 é apresentada a análise de impacto desta simulação, assim como a uma perspectiva do cenário para o ano de 2030. Além disso são apresentadas as políticas de incentivo existentes no país. O capítulo 7 apresenta as considerações finais e conclusões deste trabalho, assim como as propostas para trabalhos futuros e os artigos vinculados a este trabalho.

2 VEÍCULO ELÉTRICO: UMA ALTERNATIVA

O consumo mundial de petróleo pode ser esquematizado como uma trajetória predominantemente crescente, na qual os consumidores são cada vez mais dependentes. Mesmo que o percentual de produção do petróleo tenha caído de 46% em 1973 para 31% em 2013, conforme dados da *International Energy Agency* (IEA, 2014), o petróleo ainda representa a maior participação na oferta total de energia primária, seguido pelo carvão (29%) e gás natural (21%). Os maiores produtores de petróleo em 2013 foram Arábia Saudita, Federação Russa, Estados Unidos da América (EUA), República da China, Canadá e Kuwait. Enquanto os maiores consumidores, em 2013, foram EUA, China, Japão, Índia e Rússia.

Como consequência desta diferença, o petróleo é amplamente negociado, uma vez que muitos são os países compradores e poucos são os produtores. Agregado a isso, tem-se a elevada dependência da matriz energética mundial pelo produto de escassa oferta, o que causa uma pressão muito grande em seus preços de aquisição. Isto, porque, além dos preços de mercado, o valor do barril do petróleo pode apresentar variações e influências de momentos históricos, tais como guerras, discussões políticas ou até mesmo restrições de oferta, conforme pode ser observado na Figura 1.

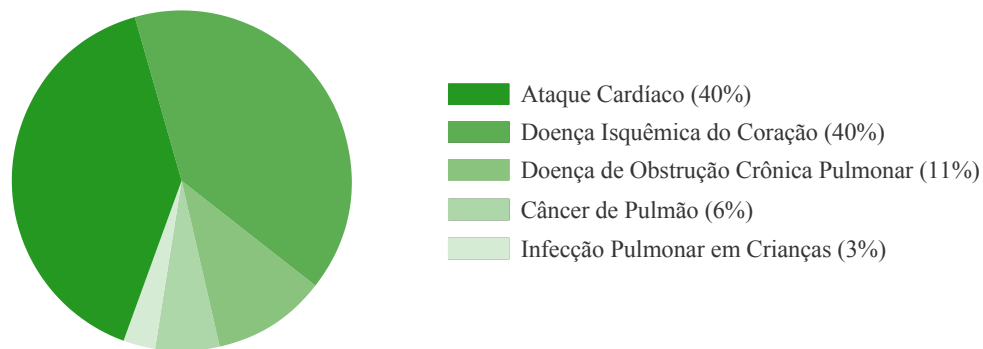
Figura 1 – Variação do preço dos barris de petróleo em função de eventos históricos, adaptada de (IEA, 2014)



A dependência das grandes potências mundiais de uma fonte de energia primária não renovável e suas consequências geopolíticas são amplamente discutidos na literatura e vem

recebendo atenção especial nos últimos anos devido à recente preocupação mundial com o meio ambiente. O consumo do petróleo vai contra este ideal ambiental, já que tem como principal consequência de sua utilização o alto nível de poluição atmosférica. Segundo o *EV City Casebook* (EVCC, 2014), mais de 3,5 milhões de mortes são causadas anualmente, no mundo, por consequência da poluição ambiental, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Mortes causadas por consequência da poluição, adaptada de (EVCC, 2014)



Ainda segundo (IEA, 2014), o setor de transportes consome 63,8% do petróleo produzido no mundo, e foi o um dos maiores responsáveis pelo crescimento do consumo desta fonte de energia, conforme pode ser observado nas Figura 3 e 4. No entanto, essa situação pode se agravar, pois segundo *World Business Council for Sustainable Development* (WBSCD, 2014), nas últimas décadas, os países em desenvolvimento tem apresentado maior consumo de energia no setor de transportes, e caso não ocorram mudanças neste cenário, a tendência é que isto aumente.

Figura 3 – Consumo mundial de petróleo por setor em 1973, adaptada de (WBSCD, 2014)

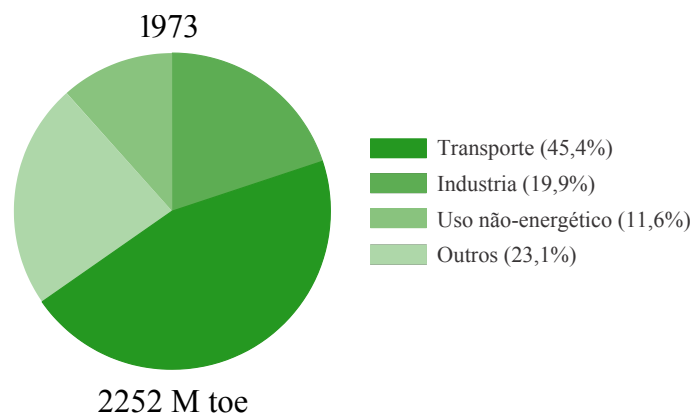
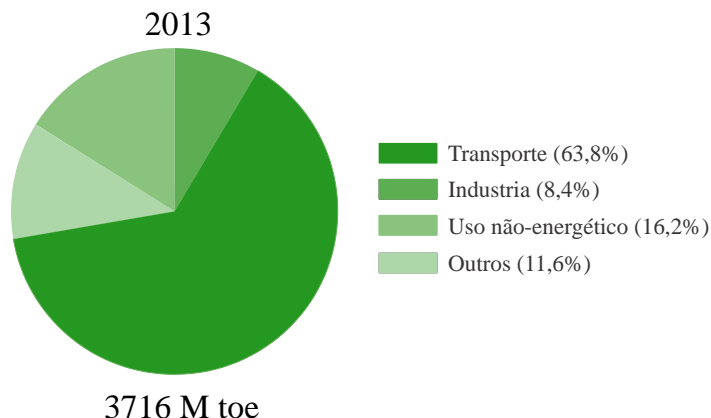


Figura 4 – Consumo mundial de petróleo por setor em 2013, adaptada de (WBSCD, 2014)



Os meios de transportes são essenciais para o desenvolvimento econômico, uma vez que permitem a redução do isolamento da população e aumentam a sua qualidade de vida. No Brasil, país que possui uma das maiores frotas do mundo, existe preocupação quanto ao futuro energético e ambiental.

2.1 ORIGEM DO VEÍCULO ELÉTRICO DO MUNDO

De acordo com (Hoyer, 2008), a origem dos veículos elétricos está na realidade relacionada à história das baterias. O primeiro projeto de motor elétrico conhecido foi o do húngaro Ányos Jedlik em 1828, e o primeiro veículo elétrico foi construído por Thomas Davenport, somente em 1835. A partir desse momento e ao longo do século XIX, veículos elétricos começaram a ser construídos e adaptados para funcionarem em trilhos. Em 1859, o belga Gaston Planté realizou a demonstração da primeira bateria de chumbo e ácido. Esse equipamento veio a ser utilizado por diversos veículos elétricos desenvolvidos a partir do início da década de 1880 na França, nos E.U.A. e no Reino Unido. Em 1885, Benz demonstrou o primeiro motor à combustão interna, mas foi a partir dos anos 1890 que a indústria automobilística começou a se desenvolver mais rapidamente.

Neste período, o VE era considerado tecnologicamente superior aos demais produtos do mercado, uma vez que possuía uma rede industrial e tecnológica bem desenvolvida e com fácil acesso a fornecedores. Este produto fazia uso de componentes similares aos bondes elétricos, até então o principal meio de transporte público das grandes cidades. Em 1899, o veículo elétrico conhecido como “Le Jamais Contante” ou “O Nunca Satisfeito”, foi o primeiro veículo a quebrar a barreira dos 100 km/h (BARAN, 2012).

Mesmo sendo tecnologicamente mais avançado, o VE sofria forte concorrência das indústrias de veículos movidos a gasolina e veículos a vapor. Cada ramo da indústria automobilística tinha visões bastante peculiares em relação a suas estratégias comerciais. Os fabricantes dos VMG, por exemplo, visavam o consumo em massa, e para eles o preço era um fator chave. Já os fabricantes de veículos a vapor eram contra ao consumo em massa e se preocupavam em desenvolver produtos de desempenho mais elevado, sem importar-se com aspectos como preço e formas de pagamento. Enquanto os fabricantes dos veículos elétricos controlavam do primeiro ao último processo de produção, ou procuravam vender produtos caros à consumidores de alto poder aquisitivo (BARAN, 2012).

Ainda no início do século XX, as estradas do interior das cidades eram muito precárias, uma vez que não havia infraestrutura elétrica e muito menos combustível de fácil acesso. Este cenário começou a mudar quando a distribuição da gasolina se expandiu, já que os motores de combustão interna apresentavam maior eficiência facilitando a distribuição dos combustíveis líquidos, os quais eram vendidos em pequenos galões. Além disso, a manutenção dos veículos movidos à gasolina era realizada por profissionais especializados em conserto de bicicletas, com oferta muito maior do que mecânicos dos veículos elétricos, uma vez que eram pouquíssimos os que conseguiam compreender o funcionamento dos VE e suas baterias.

No cenário norte-americano, maior frota da época, ainda no início do século XX, havia cerca de 4.000 veículos registrados na cidade de Nova York, sendo 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos. Em 1912, quando a frota de carros elétricos de Nova York atingiu o ápice de 30.000 unidades, a frota de veículos a gasolina já era 30 vezes maior (Struben *et al.*, 2006). Segundo (Cowan *et al.*, 1996), neste período, enquanto as vendas no de veículos a gasolina cresceram mais de 120 vezes, as de elétricos somente dobraram.

Foi a partir de então, de acordo com *Energy Information Administration U.S.* (EIA, 2009), que a trajetória dos veículos elétricos seguiu em constante queda no mercado e conseqüentemente, no seu aprimoramento tecnológico. Entre os principais fatores, pode-se citar o sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, que permitiu que o preço final dos carros a gasolina ficasse entre 500 e 1.000 USD, o que correspondia à metade do preço pago pelos VEs e a criação da partida elétrica, o que eliminou a manivela utilizada para acionar o motor dos veículos a gasolina. Houve ainda a interligação de diversas cidades norte-americanas através de rodovias, o que demandava veículos capazes de percorrer longas distâncias. Por fim, o advento do setor petrolífero, que reduziu o preço da gasolina, tornando-a um combustível atrativo para o setor de transportes.

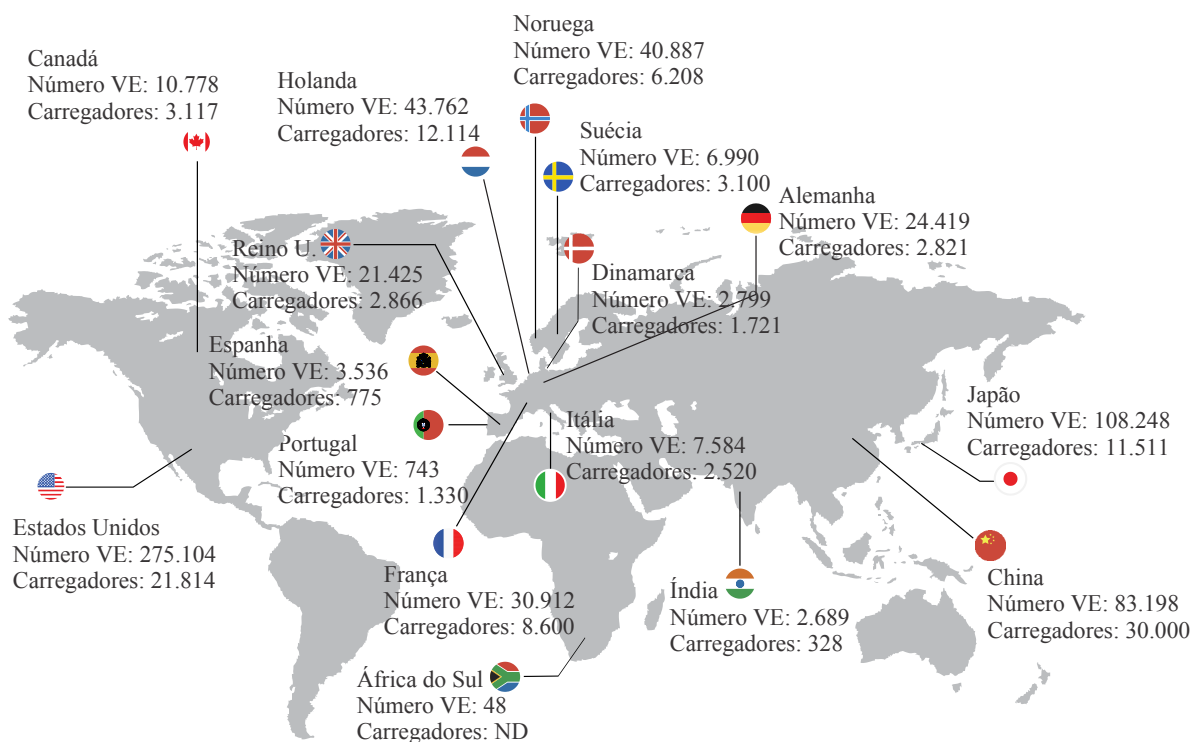
Segundo (BNDES, 2011), foi somente após os anos de 1960, que a opinião pública começou a se voltar para os problemas ambientais, uma vez que veículos com motores de combustão interna começaram a causar problemas ambientais, devido à utilização de combustíveis fósseis, nocivos para o meio ambiente (FARIAS, 2014). Diante desse cenário, os veículos elétricos passaram a ser mais pesquisados e sua tecnologia novamente desenvolvida (MORGADO, 2013), voltando a atrair a atenção das grandes montadoras. Nesta época, o chumbo ainda era utilizado como aditivo para a gasolina, e não havia filtros nem catalizadores para conter as emissões e o automóvel era considerado uma das principais fontes da poluição atmosférica nas grandes cidades.

Apesar de os anos 1970 terem sido uma época propícia para os veículos elétricos, que combinavam emissão nula de poluentes com a possibilidade de utilizar fontes de energias renováveis, os protótipos desenvolvidos na época não chegaram às linhas de produção. Houve diversas iniciativas de trazê-los de volta ao mercado no período, mas nem os automóveis elétricos puros nem os híbridos estavam aptos a competir no mercado com os automóveis convencionais.

No final da década de 1980 as atenções voltaram-se mais uma vez para os veículos elétricos, novamente no intuito de reduzir a poluição nas grandes cidades. O conceito de desenvolvimento sustentável ganhava força, e o foco se concentrava na necessidade de utilização de fonte de energia alternativa e no desenvolvimento de novas tecnologias de transportes (BARAN, 2012). Em 1990, o estado da Califórnia implementou suas primeiras normas regulatórias de emissão zero. Em 1992, a Agenda 21, um dos resultados da Conferência Eco-92, da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento criada pela ONU em 1972, enfatizou a importância dos problemas causados pelo uso extensivo de energia fóssil, bem como a necessidade de redução do consumo de energia nos países desenvolvidos e de busca de uma possível transição para fontes renováveis de energia. Ainda no ano de 1992, a União Europeia definiu uma política de transportes por meio da expressão “uma estratégia para a mobilidade sustentável”.

Desde então, a produção e os incentivos para o desenvolvimento de VEs no mundo todo, não para de crescer. Atualmente, existem mais de 665 mil VEs no mundo, de acordo com *Global EV Outlook* (GEVO, 2015), conforme se pode observar na Figura 5. Os principais países investidores nesta tecnologia e suas características são apresentados a seguir.

Figura 5 – Número de veículos e estações de carregamento em diversos países, adaptada de (GEVO, 2015)



2.2 O VEÍCULO ELÉTRICO NO MUNDO

Segundo (FARIAS, 2014), devido ao crescimento constante da frota de veículos no mundo, a emissão de gases poluentes para o meio ambiente vem crescendo drasticamente. O VE se apresenta como uma das soluções para a zero emissão destes gases, podendo aproveitar as fontes alternativas de geração de energia elétrica. Para esta tecnologia se tornar realidade para a população mundial, grande parte dos investimentos deve ir para a produção e distribuição de energia elétrica, suprindo a demanda de eletricidade. De acordo com (SANTOS *et al.*, 2009), para mover uma frota de aproximadamente um bilhão de veículos elétricos seria necessário uma produção mundial de energia de 5 mil TWh, o que requeriria um aumento de 30% na produção atual.

No entanto, quando se trata de VE, a realidade mundial é outra, pois até o final de 2014 existiam 665.00 VEs registrados no mundo, valor que representa 0.08% do total de veículos de passeio. A seguir, são apresentados os países que atualmente mais se destacam na utilização desta tecnologia e o funcionamento das políticas governamentais de incentivo e administração do sistema de carregamento, entre outras informações específicas de cada localidade.

A União Europeia (UE) é a região do mundo que apresenta maior quantidade de investimentos e desenvolvimentos na inserção do VE no seu mercado. Enquanto que até o final do ano de 2013 existiam 64 mil postos de carregamento no mundo, o objetivo da UE é que até 2020 devem ser instalados mais milhares pela Europa, decisão aprovada pelo Parlamento Europeu. A Alemanha, por exemplo, possui dois mil pontos de carregamento, até 2020 pretende ter 86 mil novos, a Itália, 72 mil, Portugal 123 mil e o Reino Unido, 70 mil. Até 2020, o previsto é que tenha dez milhões de VE circulando na Europa. Caso esta situação torne-se realidade, haverá um aumento de aproximadamente 36 GWh de energia consumida e uma redução de 60% na emissão de gases poluentes até o ano de 2050.

A UE ainda estipulou que até 2015 a média de emissões de CO_2 deveria ser de 130 g/km. Na Noruega, por exemplo, este valor já cumpre a meta, não ultrapassando 118g/km. Segundo o *Energy Research Centre of Netherlands* (ECN, 2012), no início de 2012 a Holanda era o líder em número de VEs, deixando a Noruega em segundo lugar. Em relação a pontos de carregamento, a ordem se dava por Noruega, Áustria e Holanda. No final do ano de 2014, segundo (GEVO, 2015), a Holanda apresentava uma quantidade de 43.762 veículos elétricos e 12.114 pontos de carregamento espalhados pelo país. Já em 2015, a cidade de Amsterdam possuía 10 mil VEs nas ruas, a qual possui uma população de 813.562 habitantes em 2014 e 246 mil veículos registrados, nos quais 44% são veículos de passeio, 30% veículos públicos e 22% são bicicletas. A meta nacional era de 20 mil VEs em 2015, 200 mil VEs em 2020 e um milhão de VEs em 2025.

Em relação aos incentivos governamentais, as taxas de registros de veículos e outras taxas geraram uma economia de 5.394 euros por ano para cada veículo de passeio. Além disso, há carregamento gratuito em estacionamentos providos pelo governo e o gasto para abastecimento do VE é cerca de 1/5 do gasto no abastecimento do VMG. Até dezembro de 2014 foram carregados 4.195.879,3 kWh, totalizando 21 milhões de quilômetros com emissão zero de poluentes na atmosfera.

Até o final do ano de 2014, a China possuía uma frota de 83.198 VEs e 30 mil pontos de carregamento espalhados pelo país, e encontrava-se em terceiro lugar na percentagem da quantidade de veículos elétricos do mundo (GEVO, 2015). Na mesma época, o país tinha 230 milhões de “e-bikes” ou “bicicletas ecológicas” registradas e 36.500 ônibus elétricos.

Pesquisas recentes no país tiveram como resultados que 77% dos motoristas dirigem por 30 km por dia, ou menos, significando que os modelos de VE encontrados no mercado atual suprem as necessidades diárias da maioria dos consumidores. Além disso, a China está

ampliando as medidas estatais para incentivar as vendas do VE, tais como reduzir em cerca de 10% os impostos em cima deles. A BYD Co é a maior fabricante chinesa e tem carros inclusive no Brasil. No final do ano de 2014, segundo (GEVO, 2015), o Japão sustentava a posição de segunda maior percentagem de quantidade de VEs, correspondendo a 16% do montante mundial. Esta percentagem representa uma quantidade de 108.248 veículos elétricos e 11.511 pontos de carregamento espalhados pelo país. Além disso, várias cidades do país estão implantando políticas de incentivo para encorajar que as novas construções, sejam residenciais ou comerciais, já contenham uma estrutura de carregamento para VEs.

Durante o ano de 2014, a Alemanha fez grandes investimentos no ramo da estrutura do veículo elétrico. O peso é um dos fatores mais importantes em qualquer veículo e influencia em seu desempenho, performance e preço (EVCC, 2014). Quanto mais pesado, menos distancia o veículo será capaz de percorrer, fator de extrema importância no que se trata de VEs. No final do ano de 2014, segundo (GEVO, 2015), a Alemanha apresentava uma quantidade de 24.419 veículos elétricos e 2.821 pontos de carregamento espalhados pelo país.

No final do ano de 2014, segundo (GEVO, 2015), o E.U.A. sustentava a posição de maior percentagem de quantidade de VEs, correspondendo a 39% do montante mundial. Esta percentagem representa uma quantidade de 275.104 veículos elétricos e 21.814 pontos de carregamento espalhados pelo país.

Em 2013, o Departamento de Defesa Norte-Americano anunciou que investiria 20 milhões de dólares para o desenvolvimento de veículos elétricos que poderiam ser conectados a rede de distribuição de energia. Há algumas universidades no país que focam no desenvolvimento desta tecnologia, como a Universidade de Delaware, a qual se estabeleceu como um importante centro de desenvolvimento do veículo-para-rede (V2G). Esta instituição fez acordos com diversos fabricantes de VEs e companhias de distribuição de energia elétrica, a fim de quantificar e apresentar a oportunidade econômica que os VE conectados à rede são capazes de prover (EVCC, 2014). Estas pesquisas auxiliam a estabelecer que os VEs não são somente meios de transporte, mas também sistemas de armazenamento de energia, que, se utilizados corretamente, auxiliam na estabilidade da rede de distribuição.

Já a Noruega, que é um país extremamente rico, com uma renda per capita que é o dobro dos EUA, segundo o *The World Bank Association* (WBA, 2015) e possui uma das matrizes energéticas mais limpas, podendo ser comparado com a geração de energia brasileira, uma vez que quase 100% da energia gerada no país do Brasil ou Noruega provêm das usinas hidroelétricas. A Noruega é um exportador de petróleo, o que pode levar a pensar

que a gasolina é barata, no entanto, o contrário acontece, a preocupação com o meio ambiente faz com que os impostos sobre a gasolina sejam muito elevados. Os impostos sobre os automóveis importados são em torno de 100%, e os veículos particulares pagam pedágios urbanos. Todas estas medidas visam contribuir para a redução do uso de veículos emissores de poluentes, protegendo o meio ambiente.

Em março de 2014, a Noruega foi o primeiro país a atingir a média de um a cada cem carros de passeio ser um VE. Sua capital, Oslo, é considerada a capital mundial do veículo elétrico. No primeiro bimestre de 2015, 23% dos veículos de passeio adquiridos foram VEs e foi o primeiro país a ter como veículo mais vendido, um veículo elétrico, o Tesla modelo “S”. Como principais metas do governo, pode-se citar que até 2018 o objetivo é atingir os 50 mil veículos com emissão zero de poluentes, considerando somente seu uso, e não sua fabricação, nem geração de energia necessária, além da política de taxa zero para aquisição dos VEs, enquanto que para veículos movidos a gasolina, as taxas chegam a ser de 25% do valor do veículo. Estes incentivos eram válidos até o ano de 2017 ou até atingir a meta (de 50 mil VEs no país), a qual foi atingida dois anos antes do estimado, em 20 de abril de 2015. Atualmente, está sendo discutido como as políticas de incentivo serão continuadas, e até os órgãos responsáveis chegarem em acordos, os incentivos irão continuar até dezembro de 2016.

Enquanto que em agosto de 2014 havia 5.611 pontos de carregamento para veículos elétricos em todo o país, e na cidade de Oslo, havia 1.399. Oslo é a maior cidade da Noruega e tem o quinto maior PIB mundial, correspondente a 24% do PIB nacional. Na cidade, existem 650,733 habitantes, dos quais cerca de 262.000 possuem veículo próprio, segundo *The Governmental Statistics Norway* (SSB, 2015), o que significa que a cada 100 pessoas, 40 têm um veículo privado.

Uma vez que a frota de veículos na cidade é cerca de 260 mil veículos, e destes, 7.878 são veículos elétricos, os VEs representam 3% da frota da cidade. Em comparação com a Noruega, que possuía 41.051 veículos elétricos no final de 2014, este montante representa que Oslo tem cerca de 20% da frota total de VEs de toda a Noruega. Ao comparar os veículos registrados no país, a Noruega tem 2.555.443 veículos registrados segundo *The Governmental Statistics Norway for Green Cars* (GRONNBIL, 2015), a partir destes, os VEs representam menos de 2% de todos os veículos no país. Apenas a cidade de Oslo já ultrapassou esse percentual comparativo, justificando seu título do Capital Mundial do VE. Pode parecer uma pequena porcentagem, mas no cenário de prevenção de emissões de CO₂, é um número muito representativo.

Segundo (EVCC, 2014), incentivos locais tem sido um dos fatores de maior importância para o crescimento da popularidade dos VEs na Noruega. Os motoristas da cidade de Oslo, por exemplo, reportaram que economizam cerca de uma hora no seu tráfego diário somente por poderem utilizar as linhas de ônibus e por terem locais de estacionamento específicos para seus veículos. Uma pesquisa recente elaborada pelo governo norueguês teve como resultado que 64% dos motoristas de VEs sentem que seu veículo elétrico economiza tempo. A mesma pesquisa ainda chegou a conclusão que 94% dos proprietários concordam que seus veículos elétricos possuem baixos custos de utilização. Isto porque, como já explicado, as taxas da gasolina são muito elevadas em todo o país; mas também porque há um conjunto de incentivos que facilita o cotidiano dos proprietários de VEs, como trafegar sem pagar pedágio nas rodovias, carregamento gratuito nos postos de carregamento públicos espalhados por mais de 5000 pontos do país e estacionamento gratuito na maioria dos estacionamentos municipais. A Noruega é o maior mercado europeu da Tesla Motors, companhia que fez grandes investimentos em uma rede nacional de supercarregadores e pontos de carregamento, os quais possibilitavam a recarga em menos de um hora. Todas estas iniciativas são originadas e administradas pelos próprios municípios noruegueses.

Cidades, regiões e governos de diferentes países iniciaram parcerias a fim de incentivar e desenvolver o mercado dos veículos elétricos no mundo. Estas atitudes são um fator importante para o rápido e efetivo desenvolvimento e estabelecimento do VE no crescente mercado mundial. Caso todas as medidas previstas consigam ser implantadas, e os investimentos continuem a crescer, a redução da emissão de gases poluentes para a atmosfera gerada pelo setor de transportes, irá diminuir e se manter dentro dos níveis estipulados, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Expectativa das emissões de CO₂ até o ano de 2050, adaptada de (EVCC, 2014)

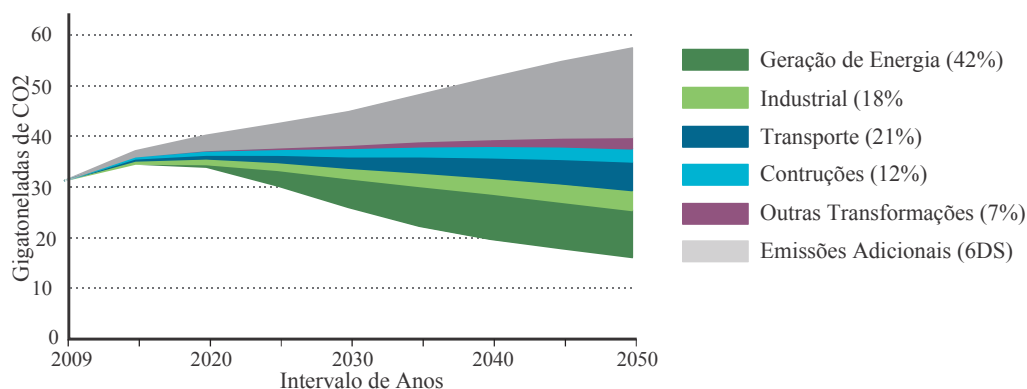
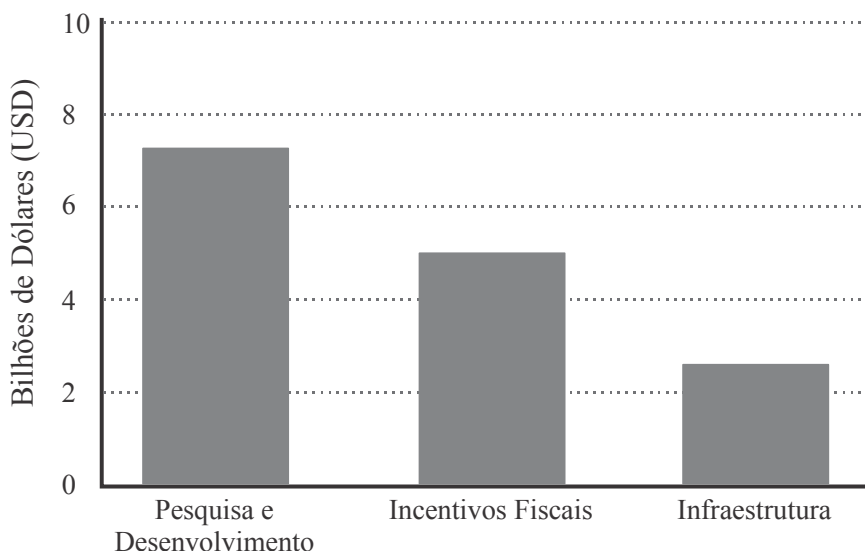


Figura 7 – Investimentos em VE entre 2008 e 2014 por categoria, adaptado de (GEVO, 2015)



Na Figura 7, é possível observar o investimento por categoria que foi gasto mundialmente em VEs de 2008 a 2014. Na Figura 8 pode-se observar como o mercado de VEs se dividia no final do ano de 2014 e na Figura 9, o crescimento das vendas de VEs de 2010 a 2014.

Figura 8 – Percentual de participação no mercado mundial de VE, adaptado de (GEVO, 2015)

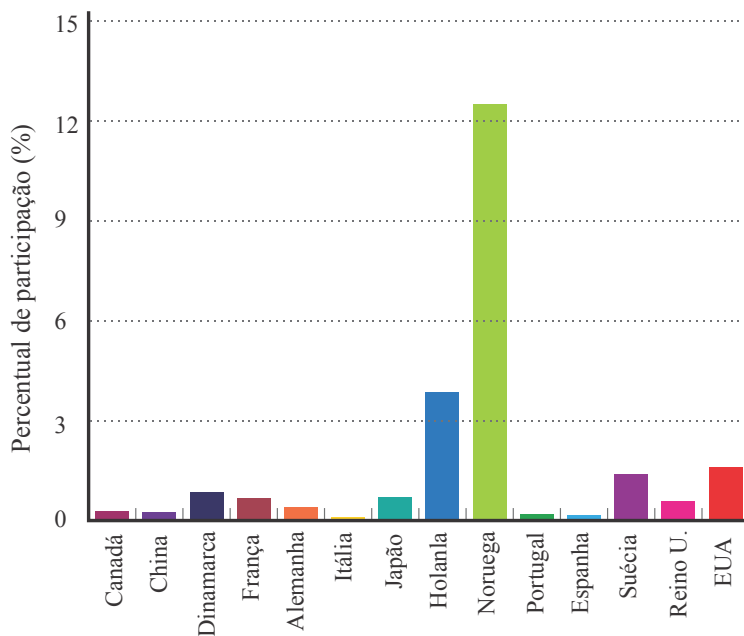
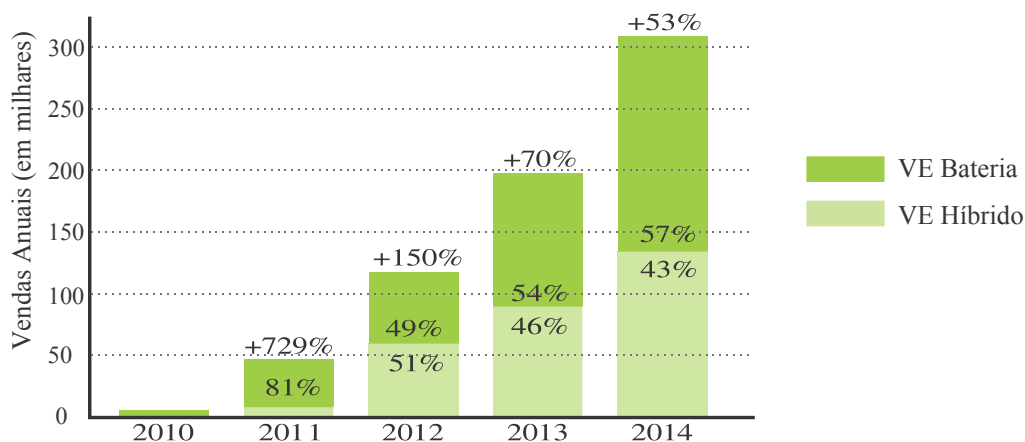


Figura 9 – Crescimento e valor das vendas mundiais de VE entre 2010 e 2014, adaptado de (GEVO, 2015)



2.3 SITUAÇÃO DO VE NO BRASIL

O aumento do VE tem como vantagem a redução do consumo de energias mais poluentes, no entanto requer o aumento de energia elétrica. Assim, o aumento do número de veículos no Brasil nos próximos anos resultará em um aumento na demanda de energia necessária para suprir o setor de transportes. Por esta razão, utilizar a eletricidade, e inserir o VE no setor de transportes, possibilita novas alternativas ambientais e estratégias de gerenciamento de energia, uma vez que pode ser utilizado como bateria.

Praticamente em todos os países em que o VE é lançado, há duas grandes preocupações dos investidores, a incerteza em relação ao tamanho do mercado para esta tecnologia e o tempo que levará para ser difundido. Não há razão para essas perguntas não serem feitas no mercado brasileiro também. Por isto, primeiramente deve-se avaliar a situação em que esta tecnologia se encontra no país para então poder apresentar uma perceptiva de futuro para o VE.

No Brasil, a primeira tentativa de produção de larga escala de VEs ocorreu entre os anos 1970 e 1980, quando foi realizada uma parceria com a Furnas Centrais Elétricas S.A. e a Gurgel S.A., que resultou no desenvolvimento do Itaipu Elétrico e o Itaipu 400 (BARAN, 2012). Estes modelos de VEs não tiveram chance de ganhar espaço no mercado brasileiro, uma vez que houve medidas de nacionalização e substituição do petróleo, como o Pró-Álcool, além do VE apresentar custos de produção muito elevados e baixa autonomia (BORBA, 2012).

No início de 2014 a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2015) prometeu implantar medidas de incentivo à VEs e híbridos, tais como, redução de impostos e IPI, atualmente a taxa de importação do VE é 25% maior que de um VMG; nacionalização de componentes de veículos nesta categoria e produção destes veículos no país. Com o propósito de fazer um estudo comparativo e analisar os impactos da inserção do VE na matriz energética brasileira, objeto de estudo deste trabalho, a cidade de São Paulo foi escolhida.

São Paulo é a maior cidade de um país de dimensões continentais, o Brasil, e objeto deste estudo. Tem o maior Produto Interno Bruto (PIB) entre as cidades brasileiras e o 13º PIB do mundo. Se fosse um país, poderia ser classificada como a 36ª maior economia do mundo, acima de países como Portugal e Hong Kong, segundo relatórios do Banco Mundial – *World Bank* (WB, 2015). Tem uma população de 11.895.893 milhões de habitantes, os quais cerca de 5,4 milhões possuem veículos, mesmo com taxas tão elevadas de importação e impostos nacionais, as quais chegam a atingir uma média de 35% do valor total de cada veículo, de acordo com a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE, 2015). Isso significa que a cada 100 pessoas, 45 delas têm um veículo particular.

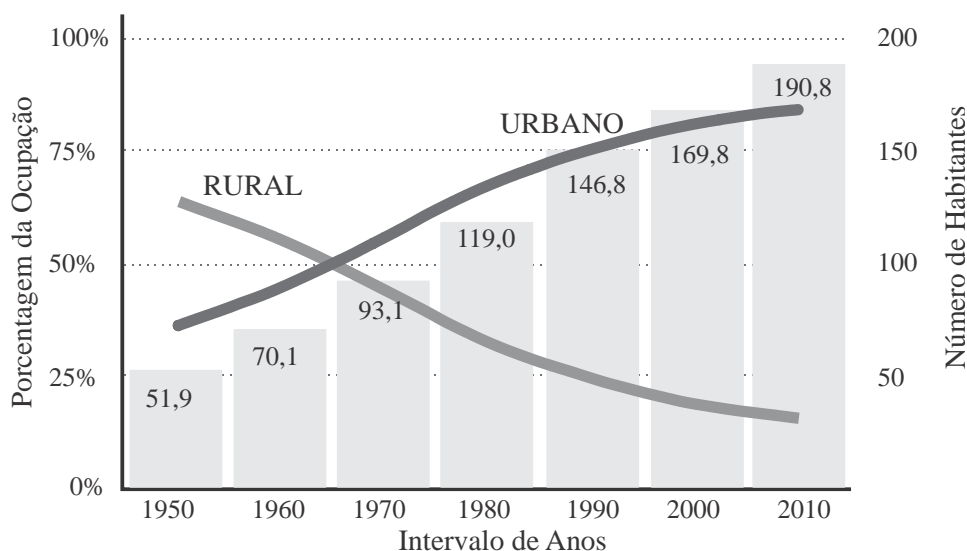
O número de veículos é muito alto para a infraestrutura da cidade, é por isso que algumas políticas públicas são aplicadas, como o "Programa de Restrição para Circulação de Veículos Automotores na Região Metropolitana de São Paulo", em que apenas uma quantidade pré-determinada de veículos previamente selecionados podem circular nas ruas em determinados dias da semana. Com esta medida, o tráfego tornou-se um pouco mais leve durante os dias úteis, mas ainda é um problema constante não só na cidade de São Paulo, como na maioria das cidades brasileiras.

2.3.1 A Frota De Veículos Brasileira

Entre os anos 1930 até 1980 as cidades brasileiras cresceram muito rapidamente, expressando as intensas mudanças pelas quais a economia brasileira estava passando. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), 73% da população nos anos 1940 viviam em áreas rurais, enquanto apenas 27% poderia ser considerada urbana. Em 1980, esta situação praticamente inverteu-se, uma vez que 70% da população tornou-se urbana, conforme pode ser observado na Figura 10. Este movimento rural-urbano deveu-se ao crescimento das indústrias em centros urbanos, que continham a promessa de melhores

condições de trabalho e qualidade de vida. Estes centros urbanos tornaram-se as principais regiões de desenvolvimento com grande valor comercial e residencial. Com este aumento, os custos de viver próximo às principais indústrias aumentaram, de modo que os trabalhadores de baixa renda tiveram de procurar as regiões mais remotas para firmar suas residências.

Figura 10 – População e migrações urbanas no Brasil entre 1950 e 2010, adaptada de (IBGE, 2015)

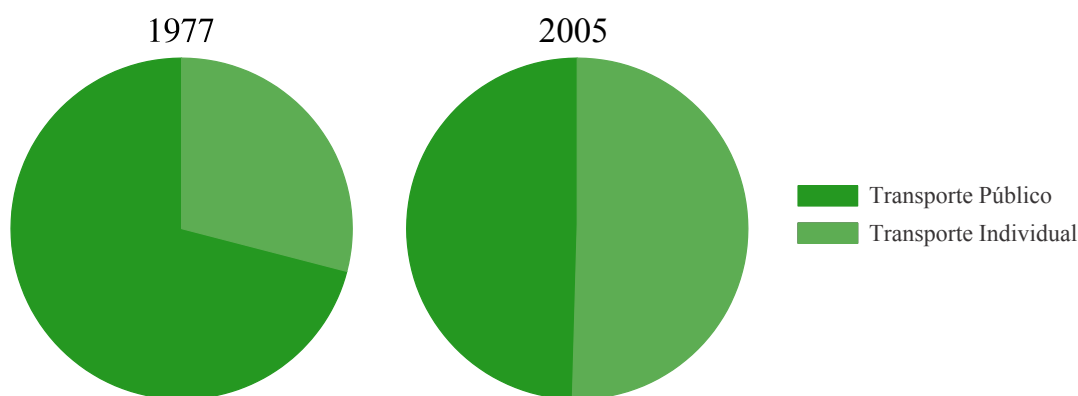


De acordo com (Sampaio, 2008), o transporte público brasileiro tem uma história precária tanto no âmbito de quantidade quanto na qualidade. Assim, tornou-se extremamente difícil para os trabalhadores comuns deslocarem-se de casa para o trabalho. Esta dificuldade criou uma grande demanda por um meio de transporte individual e confiável. Neste mesmo cenário, houve um alto investimento do setor privado, que observou nesta situação uma grande oportunidade para crescer financeiramente. Além disto, houve grandes investimentos governamentais, os quais geraram novas oportunidades de emprego e fizeram com que um setor industrial se destacasse em relação aos demais: o automobilístico, com os veículos movidas à gasolina (VMG), segundo o Banco Central do Brasil (BCB, 2015).

Ao longo dos últimos anos, com o crescimento econômico do país e deste setor, as oportunidades e as condições para a população adquirir seu próprio veículo também cresceram. No entanto, o desenvolvimento dos transportes públicos permaneceu com baixos investimentos. Esta situação, aliada com a grande distância diária que os trabalhadores tinham que percorrer entre o trabalho e suas residências, fez com que a frota de veículos individuais aumentasse gradual e rapidamente.

Ainda hoje, em particular nas regiões metropolitanas, os trabalhadores moram longe dos grandes centros industriais, e para se locomover, apenam para o veículo individual, uma vez que o transporte público é precário e de má qualidade, segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2015). Este cenário pode ser observado na Figura 11, demonstrando o quanto a frota de veículos particulares cresceu ao decorrer dos anos, fato só possibilitado pelo aumento do poder aquisitivo da população brasileira.

Figura 11 – Evolução da frota de veículos públicos e individuais, adaptada de (DENATRAN, 2015)



Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES, 2011) é possível afirmar que o crescimento, ao longo do tempo, da frota de automóveis em um país está diretamente relacionado ao seu nível de desenvolvimento econômico. Para (Dargay *et al.*, 2007) o padrão de crescimento ocorrido entre 1960 e 2002 em países como E.U.A., Alemanha e Japão, guardada suas proporções, também pode ser observado na China, Índia, Brasil e Coréia do Sul. A relação entre o tamanho da frota nacional e o nível de desenvolvimento, medido pelo PIB dos países, apresenta uma curva em “S”, indicando que a frota nacional cresce lentamente quando o país se encontra em níveis relativamente baixos de desenvolvimento. Já o crescimento da frota, acelera-se na medida em que a renda nacional aumenta e a frota atinge um nível de saturação quando o país chega a graus mais elevados de desenvolvimento. O Gráfico 1 mostra a relação tamanho da frota *versus* o desenvolvimento econômico nos EUA, no Japão, na Alemanha e na Coréia do Sul.

Para o Brasil, foi realizada uma projeção por (Dargay *et al.*, 2007), que considerando a renda per capita de 15.900 USD e uma população de 222 milhões de habitantes, em 2030, a frota brasileira seria a quinta maior do mundo, atingindo 83,7 milhões de veículos, e ficando atrás apenas da China (390 milhões), EUA (314 milhões), Índia (156 milhões) e Japão (86,6

milhões). Isso representaria um crescimento da ordem de 127% em 20 anos, uma vez que a frota atual é de cerca de 49 milhões de automóveis (DENATRAN, 2015). O Gráfico 2 mostra a relação frota *versus* desenvolvimento econômico no Brasil, China, Índia e Coréia do Sul, em escala logarítmica.

Gráfico 1 – Crescimento do número de veículos no Japão, EUA, Alemanha e Coréia do Sul entre 1960 e 2002, adaptada de (Dargay *et al.*, 2007)

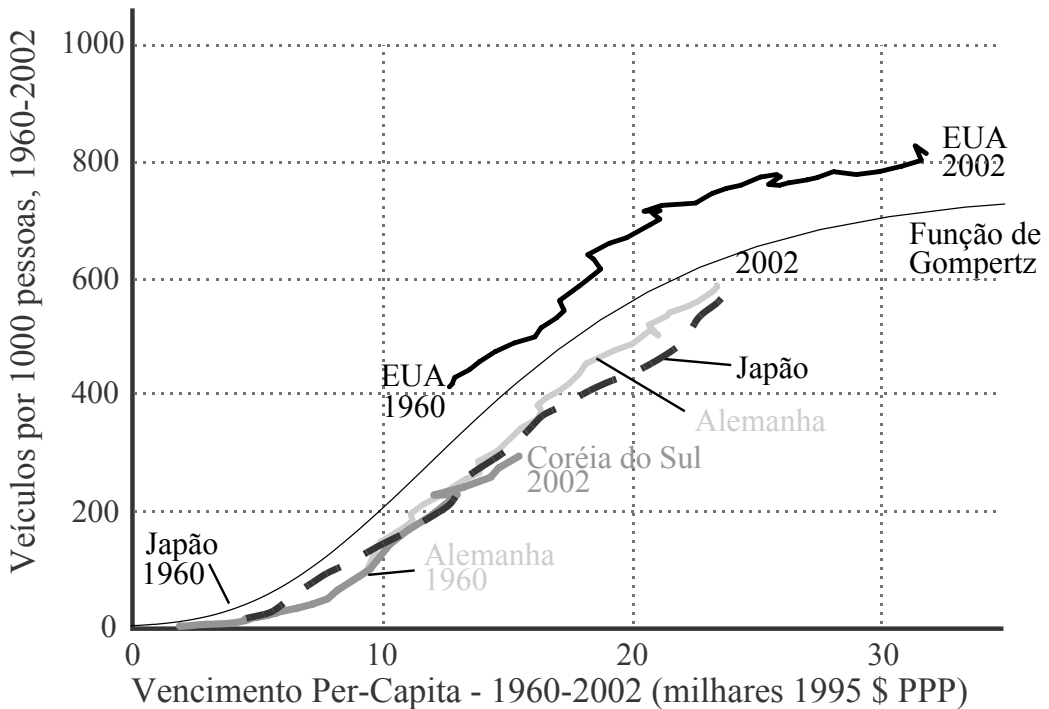
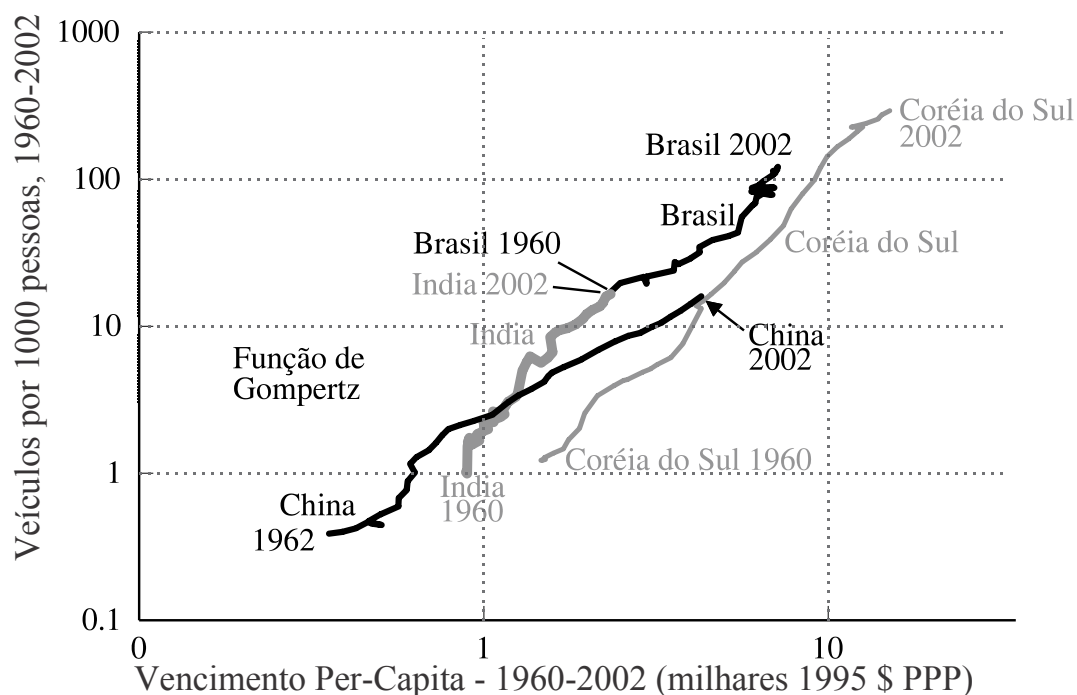


Gráfico 2 – Crescimento do número de veículos no Brasil, China, Índia e Coréia do Sul entre 1960 e 2002, adaptada de (Dargay *et al.*, 2007)



É possível observar que a trajetória dos Gráficos 1 e 2 apresentam-se com comportamento muito similares. Segundo (BNDES, 2011) o Brasil encontra-se atualmente numa zona de crescimento e somente deverá atingir o ponto de saturação quando a renda per capita ultrapassar os 30.000 USD. Este aumento de renda irá gerar um crescimento do número de veículos o que irá demandar maiores quantidades de energia, tornando o uso da eletricidade no setor de transportes uma alternativa considerável para substituir os combustíveis utilizados atualmente, seja do ponto de vista estratégico ou ambiental. Logo, é inevitável, que em breve, uma diversificação das fontes energéticas para o setor de transportes no Brasil ocorra. Assim, ambientalmente, seria um reforço significativo para a geração de energia elétrica, a qual é 75% gerada através de fontes renováveis de energia, de acordo com Ministério de Minas e Energia (MME, 2015). Além disso, reduziria o uso do motor de combustão presente nos veículos movidos à gasolina (VMG), um dos maiores responsáveis pela de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.

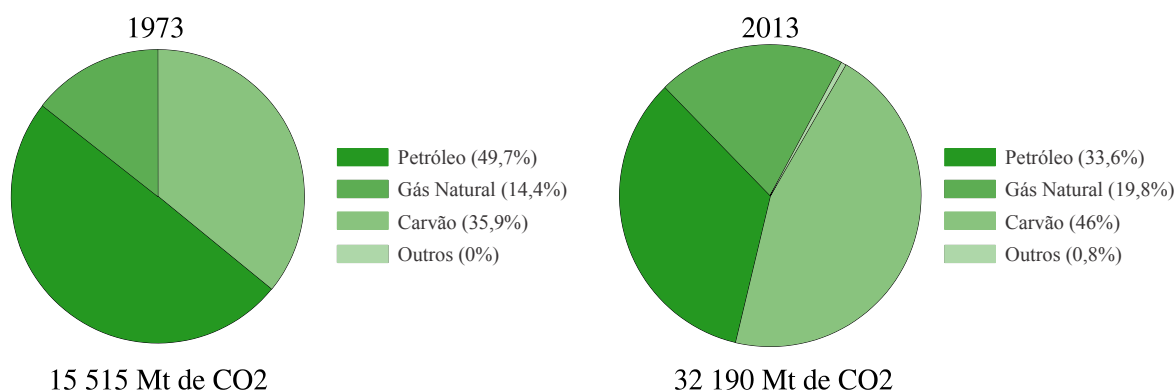
2.3.2 Utilização do VE

A busca por formas de manter e desenvolver as tecnologias que trazem conforto ao dia-a-dia da humanidade sem que traga prejuízos ao meio ambiente é uma das maiores ambições dos pesquisadores, por esta razão, o aprimoramento e inclusão do veículo elétrico no mercado mundial é tão importante. Além disto, tem-se maior independência de um dos combustíveis fósseis mais poluentes e requisitados: o petróleo. Segundo (IEA, 2014), o petróleo é

responsável por 33,6%, o equivalente à 10.816 megatoneladas das emissões de CO_2 , originados dos combustíveis fósseis, na atmosfera, quantidade esta que apesar de ter diminuído ao longo dos anos, ainda é muito representativa, conforme pode ser observado na Figura 12.

Ainda na Figura 12 pode ser observado que nos últimos 40 anos, as emissões de gases poluentes duplicaram. Esta é a principal razão, que as grandes potências mundiais, estão propondo novas medidas para a redução do uso de combustíveis não renováveis e por consequência gerando uma diminuição de poluentes lançados no meio ambiente (AMARAL, 1998).

Figura 12 – Emissões de CO_2 em função do tipo de combustível em 1973 e 2013, adaptada de (IEA, 2014)



Neste cenário, encontra-se o transporte terrestre, um dos maiores consumidores de combustíveis fósseis e por consequência, poluentes. Na emissão de gases poluentes, o setor de transporte terrestre é considerado um dos grandes responsáveis pela deterioração do meio ambiente, contribuindo para o aumento do efeito estufa, o qual é causado principalmente pela emissão de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de carbono (CO_2). Somente o setor de transportes, um dos confortos da vida moderna, é responsável por cerca de 20% da emissão total de gases poluentes na atmosfera, conforme pode ser observado nas Figuras 13 e 14.

Em oposição a estes conceitos de proteção ambiental, há a enorme frota de veículos existentes no Brasil, os quais, somente na cidade de São Paulo, são responsáveis por mais de

oito milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO_2) emitidos anualmente na atmosfera, segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2015). A fim de encaminhar o Brasil em direção aos novos ideais de proteção ambiental, um estudo sobre uma possível redução das emissões de gases do efeito de estufa se faz necessário, e uma das ramificações deste estudo deve ser focada na integração de veículos não poluentes na frota brasileira, o veículo elétrico (VE).

Figura 13 – Evolução da emissão de poluentes entre 1971 e 2013 por tipo de combustível, adaptada de (IEA, 2014)

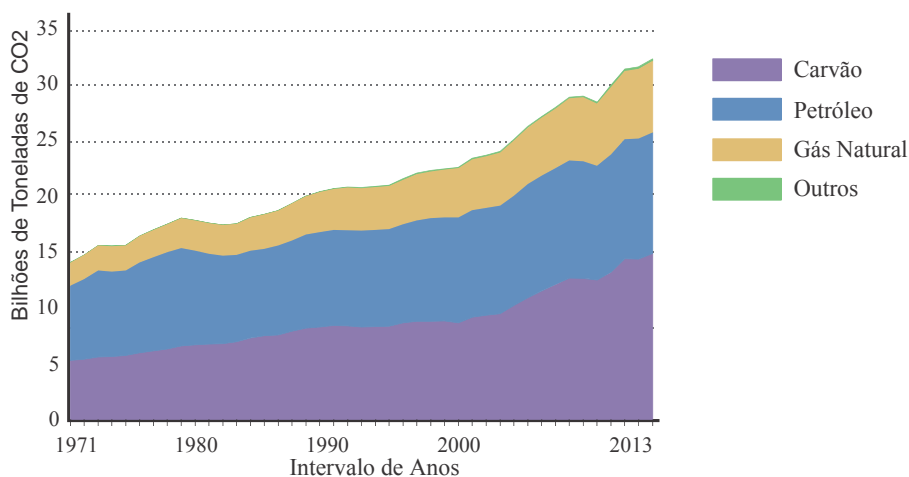
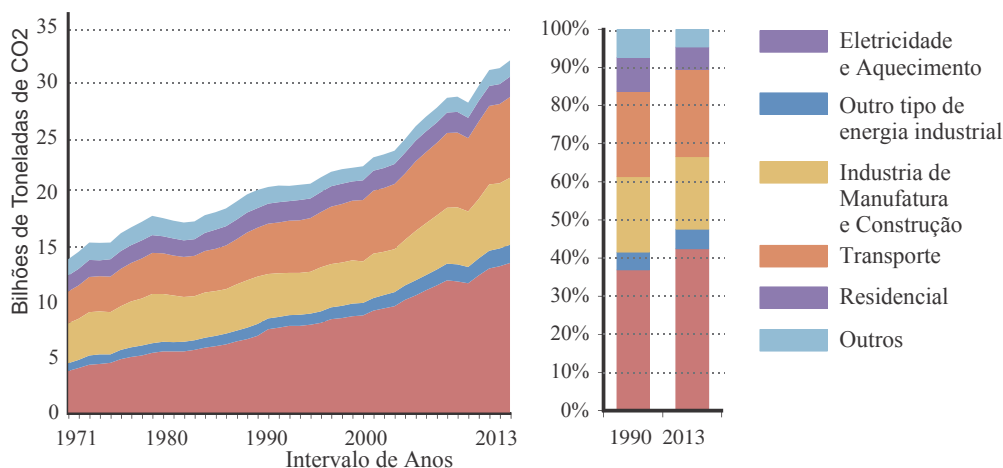


Figura 14 - Evolução da emissão de poluentes entre 1971 e 2013 por setor, adaptada de (IEA, 2014)



2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Pode ser observado que apesar de pouco desenvolvido na busca pela inserção do VE no mercado nacional, o Brasil vem a algumas décadas procurando meios de desenvolver e acompanhar a corrida pela busca de novas alternativas de transporte. No entanto, a economia brasileira é constantemente afetada pelo crescimento econômico esperado, o qual nem sempre é acompanhado pelo desenvolvimento econômico-social. Por isto, direcionar o consumo energético do país para utilizações mais eficientes e investir no desenvolvimento de fontes menos poluentes para o transporte urbano, apresenta-se como alternativa para esta delicada situação.

3 O MÉTODO DE MONTE CARLO

Métodos de inferência são usados para tirar conclusões sobre a população usando informações obtidas a partir de uma amostra. Para obter resultados confiáveis, é necessário conhecer a distribuição da estatística em estudo. O Método de Monte Carlo é uma opção para executar inferências quando não se conhece a distribuição do parâmetro de interesse, como no caso deste estudo, ou quando as suposições de um modelo são violadas.

3.1 MÉTODO DE MONTE CARLO

O MMC é uma técnica de resolução de modelo usando amostragens aleatórias repetidas vezes para obter resultados numéricos, onde a simulação é executada diversas vezes para obter amostras eficientes a fim de refletir a distribuição de probabilidade dos resultados reais. Este método é comumente utilizado para abordar os sistemas de energia ou problemas de cálculo envolvendo parâmetros incertos (LI, 2014).

Há décadas a análise dos resultados da simulação do MMC é recomendada quando se está lidando com problemas probabilísticos ou estocásticos (NAYLOR, 1971). Segundo (TORRES, 2006), este método consiste em executar um projeto diversas vezes, a fim de se obter uma distribuição de probabilidades das variáveis, um processo de geração de variáveis aleatórias a partir de certa distribuição de probabilidades.

Realizar inferências quando a distribuição da estatística de teste não é conhecida, estimar o desempenho de métodos de inferência quando as suposições paramétricas são violadas e avaliar o desempenho de métodos de inferências, dando poder ao teste, são algumas das principais formas de utilização deste método. Segundo (FIGUEIRÓ, 2013), dependendo do tamanho ou complexidade de um sistema, a análise de seu comportamento pode se tornar complicada. Por esta razão, métodos de simulação são empregados, para que se possa avaliar as propriedades e características do sistema e o MMC é uma metodologia de simulação bastante difundida na literatura.

Este, pode também ser definido com um método estatístico utilizado em simulações estocásticas com várias aplicações em diferentes áreas onde há uma incerteza e uma necessidade para simular um comportamento específico, como acontece no presente estudo. Segundo (ANDRADE, 2011) o MMC pode ser descrito da seguinte maneira:

“Seja x uma variável aleatória com as seguintes características:

- Função de distribuição de probabilidade: $f(x)$
- Função cumulativa de probabilidades: $F(x)$.

Se definirmos uma nova variável aleatória $y = F(x)$, esta tem uma distribuição uniforme sobre o intervalo fechado $(0,1)$. Assim, como a função cumulativa de probabilidades representa as características aleatórias da variável em questão, a função $y = F(x)$ é uma relação entre duas variáveis:

- Variável x , com distribuição aleatória própria;
- Variável y , com distribuição uniforme, entre 0 e 1

O Método de Monte Carlo consiste nos seguintes passos:

- Dada a função cumulativa de probabilidades da variável em simulação $F(x)$, toma-se um número, gerado aleatoriamente, nos intervalos $(0,1)$ ou $(0$ a $100)$.
- Usando a função cumulativa de probabilidades, determina-se o valor da variável x que corresponde ao número aleatório gerado.”

Métodos de inferência deste tipo são utilizados para tirar conclusões sobre os resultados usando informações obtidas a partir de uma amostra. Este método é utilizado quando não se sabe a distribuição do parâmetro de interesse, neste caso o VE, ou quando os pressupostos de um modelo são violados (CHERNICK, 1999). A Figura 1 apresenta a aplicação do MMC para a simulação de um sistema com uma função de transferência determinística conhecida.

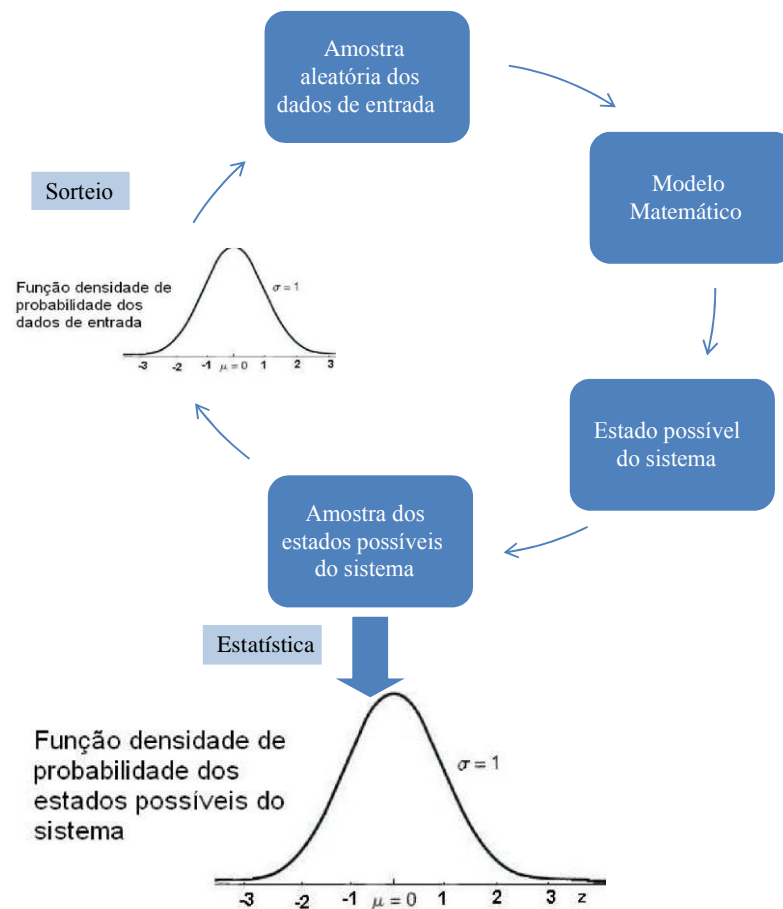
Este método torna desnecessário escrever equações diferenciais para descrever comportamentos de sistemas complexos. O sistema porém, deve ser modelado em metodologias de distribuição de probabilidade, as quais, uma vez conhecidas, podem fornecer amostragens aleatórias. Este processo repete-se inúmeras vezes de acordo com o número de iterações definido, e o resultado desejado é obtido por meio de técnicas estatísticas, como média ou desvio padrão, e sobre um determinado número de amostras. Na prática, diante de um problemas envolvendo incertezas, aplicar o MMC consiste em quatro passos padrões:

- a) Modelar o problema definindo uma metodologia de distribuição que represente o comportamento de cada uma das variáveis;
- b) Gerar valores aleatórios ligados à metodologia de cada variável;
- c) Calcular o resultado determinístico substituindo as variáveis pelos resultados gerados, obtendo, assim, uma observação do problema (repetir as duas últimas etapas de acordo com o número de iterações já definido) e;

d) Agregar e manipular os resultados da amostra de forma a obter uma estimativa da solução do problema.

É importante observar que o MMC apresenta resultados aproximados, e portanto, deve ser considerado o erro de aproximação. Quanto maior o tamanho das amostras. Menor será o erro de aproximação.

Figura 15 – Diagrama da aplicação do Método de Monte Carlo, adaptada de (LIMA, 2012)



3.2 FUNCIONAMENTO E APLICAÇÃO

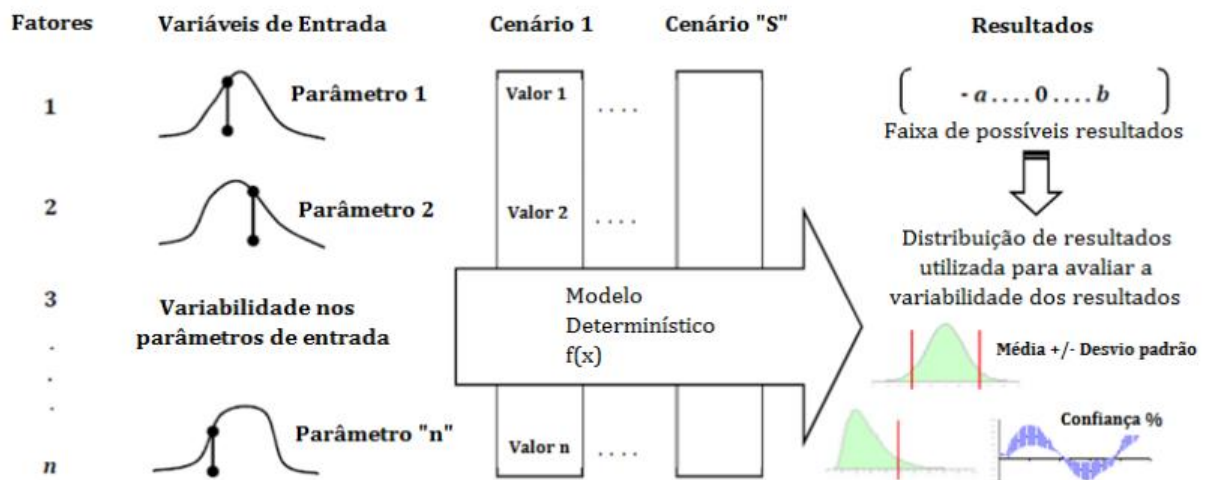
O MMC envolve a geração de algumas observações sobre distribuição de probabilidades e o uso da amostra obtida para aproximar a função de interesses; que é como a inserção da frota de veículos elétricos será simulada na cidade de São Paulo.

Segundo (LIMA, 2012) e (ANDRADE, 2011) os modelos matemáticos são utilizados na engenharia para descrever o comportamento de um sistema através de expressões

matemáticas. Normalmente estes modelos necessitam de certa variedade de parâmetros de entrada, os quais dependem de fatores externos, e por isso, estão sujeitos à riscos advindos de variações sistemáticas. Estes parâmetros são processados por equações do modelo e direcionam as saídas do sistema.

No MMC as distribuições estatísticas dos parâmetros de entrada são identificadas e são utilizadas como fonte destes parâmetros para o modelo matemático. Para tanto, são realizadas amostragens aleatórias e cada amostra forma um conjunto de parâmetros de entrada, os quais são aplicados ao modelo matemático e conduzem a um possível cenário de saída do sistema. Após realizados um determinado número de amostragens, uma amostra dos possíveis resultados é obtida, da qual pode-se inferir parâmetros da distribuição dos valores de saída do sistema, através de análises estatísticas. A Figura 16 demonstra o princípio de aplicação do MMC (SIMON, 2013).

Figura 16 – Princípio da Simulação do Método de Monte Carlo, adaptada de (CAPURUÇO E CAPRETZ, 2012)



3.2.1 Exemplo de Aplicação

Um exemplo clássico da aplicação do Método de Monte Carlo é a utilização deste método para determinar a probabilidade de ocorrência do número 7 ao jogar dois dados comuns de seis faces. O seguinte critério será utilizado:

- a) As variáveis envolvidas são o resultado que cada dado apresentará ao ser jogado. Os valores que podem ser assumidos por cada variável são os números inteiros de 1 a

6, com igual probabilidade de ocorrência de cada número. A metodologia de distribuição resulta em um destes valores.

- b) A geração de dois valores aleatórios ligados à metodologia de distribuição representará o resultado obtido ao se jogar os dois dados, ou seja, dois valores inteiros entre 1 e 6.
- c) O resultado determinístico é dado pela soma do resultado dos dois dados que foram obtidos no passo anterior, ou seja, valores entre 2 e 12. Se este valor é 7, tem-se um resultado positivo na observação, se não, um negativo. Repete-se os passos “b)” e “c)” até conseguir obter uma amostra suficientemente grande, de acordo com o número de iterações definidas.
- d) Com base na amostra, pode-se contar quantas vezes obteve-se um resultado positivo e dividir pelo tamanho da amostra para obter a probabilidade desta ocorrência.

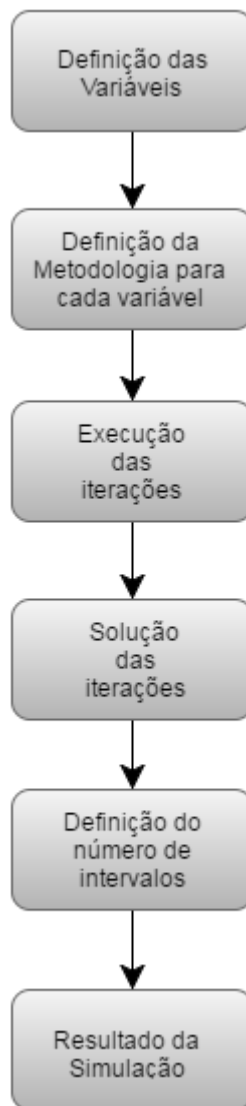
Apesar de simples, este exemplo exemplifica a simulação e torna evidente que há grande esforço computacional envolvido e que este, está diretamente relacionado ao tamanho da amostras, ou seja, quantidade de iterações necessárias, o que está diretamente relacionado ao erro de aproximação.

3.3 APLICAÇÃO NO ESTUDO PROPOSTO

O Método de Monte Carlo é amplamente utilizado em estudos envolvendo veículos elétricos, como em (DARMAKEERTHI, 2012) no qual é utilizado como ferramenta de simulação para prever a demanda necessária que cinquenta VEs impactariam em um sistema elétrico na Austrália. Outro exemplo de aplicação ocorre em (ZHANG, 2010) que utiliza o método em estudo para prever possíveis modelos de curva de carga que os VEs podem apresentar, dependendo da forma de carregamento escolhida pelo usuário de Shangai.

O Método de Monte Carlo aplicado neste trabalho tem como objetivo apresentar resultados de fácil entendimento para inclusão de variáveis de dados estimados. A aplicação seguirá a estruturação conforme pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Diagrama de Blocos da Aplicação do MMC no Estudo Proposto



3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O Método de Monte Carlo pode ser utilizado em qualquer situação onde exista incerteza nos valores dos parâmetros de entrada de um modelo matemático a fim de se obter as estimativas de distribuições estatísticas dos valores de saída do sistema. É o caso do presente estudo, no qual não há como saber a quantidade exata de VE que seria inserida na cidade de São Paulo a fim de avaliar seu impacto na matriz energética brasileira.

4 METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA

A fim de prever como a inserção na matriz energética brasileira seria afetada caso os veículos elétricos fossem inseridos no Brasil assim como foram em outros países do mundo. Com este propósito e seguindo a ideologia de que a inserção de novos ideais tecnológicos dá-se primeiramente em uma região pré-determinada, para após seus resultados apresentados, ser implementada em outras regiões.

No caso do Brasil, para realizar um estudo válido para comparações futuras, uma região brasileira pré-determinada foi selecionada: a cidade de São Paulo. Isto, devido à sua estabilidade econômica e grande diversidade social. Para fins de comparação, a cidade considerada capital mundial do VE foi escolhida para este estudo: Oslo, na Noruega.

Os dados sobre a população e frota de veículos em São Paulo, permitem afirmar que há uma média de 2,3 pessoas por veículo nesta cidade. Assim como Oslo, que tem uma média de 2,4 pessoas por veículo. Portanto, mesmo que a quantidade absoluta de pessoas e carros seja muito diferentes entre estas duas cidades, a razão entre essas duas variáveis é praticamente a mesma, permitindo uma comparação efetiva entre elas. Além disso, ambas as cidades são polos econômicos e financeiros, podendo ser consideradas referências de desenvolvimento e diversidade. As duas cidades são reconhecidas internacionalmente por sua força política e influências nos respectivos mercados nacionais. A cidade de São Paulo está situada no estado brasileiro que possui a maior parcela da frota de veículos brasileiros, 33,4% (ANFAVEA, 2015) e é detentora da maior porcentagem de veículos novos registrados no país nos últimos quinze anos. Enquanto isso, Oslo é a segunda maior frota de veículos da Noruega (SSB, 2015), se mantendo nesta posição pela última década. Além disso, por ambos são centros urbanos e industriais desenvolvidos, o meio de transporte deve ser o mais eficiente e econômico possível.

Para cada uma das cidades utilizadas neste estudo será selecionado um veículo considerado popular na região, uma vez que o objetivo é a inserção do VE no mercado brasileiro, e não sua aquisição apenas por pessoas de renda elevada.

4.1 VMG SELECIONADO

O VMG mais vendido na cidade de São Paulo em 2014, foi o FIAT PALIO Flex (QUATRO RODAS, 2015), que tem uma capacidade para cinco passageiros e custa cerca de

10.000 USD. Segundo (IBGE, 2015), a renda média da população brasileira em 2015 era de 532,97 USD, considerando a cotação do dólar de dezembro de 2015, o que corresponde à 5,32% do valor do VMG em questão. O tanque deste carro tem uma capacidade de 48L, e a gasolina no Brasil custa, em média, de 0,89 USD, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2015), de modo que, para “carregar” completamente o veículo, o brasileiro tem um custo de 42,72 USD. Segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE, 2015), o motorista brasileiro comum, dirige uma média de 60 km por dia ou 1.800 km mensais. Considerando-se esta distância percorrida, serão necessárias 3,05 recargas, custando um total de 128,16 USD, com base na cotação do dólar em dezembro de 2015.

De acordo com o manual da montadora FIAT, este veículo tem uma capacidade de 590 km de viagem, com um tanque de combustível cheio (FIAT, 2015). Fazendo uso das informações que a emissão CO₂ (gás de efeito estufa) para este modelo de carro é de 102 g/km segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2014), há, por tanque de combustível, uma emissão de 60,18kg de CO₂ para a atmosfera. Considerando que o cidadão brasileiro recarrega o tanque do veículo de seu carro 3,05 vezes, há uma emissão de 183,6kg de CO₂ por mês, totalizando cerca de dois mil kg de CO₂ por ano, por veículo, conforme é apresentado na Tabela 1. Uma vez que São Paulo tem 5,4 milhões carros e considerando que todos os veículos são o veículo em estudo, apenas a cidade de São Paulo emite, anualmente, cerca de 12 milhões de toneladas de CO₂ (DENATRAN, 2015).

Tabela 1 – Emissões de CO₂ por número de veículos (INMETRO, 2014)

Número de Veículos	Período	Emissão de CO₂
1	1 mês	183.6 kg,
1	1 ano	2.203 kg
5,4 milhões	1 ano	11,9 milhões de ton

4.2 VE SELECIONADO

O veículo elétrico semelhante mais vendido na cidade de Oslo em 2014, foi o Renault Zoe, que tem capacidade para cinco passageiros e um preço de 26.000 USD, incluindo um carregador residencial (RENAULT, 2015). Segundo (SBB, 2015), a renda média da população norueguesa era de 4.604,86 USD, correspondendo à 17,71% do valor do VE adquirido. O veículo em questão tem uma autonomia de 240 km com uma bateria totalmente

carregada. Ele vem equipado com uma bateria de íon-lítio, com tensão de 400 V, que pode ser carregada por um carregador do tipo “Camaleão”, mono ou trifásico. Para fins de comparação, este estudo irá considerar o tipo de carregador de monofásico, de 3,6 kW e 16 A, que leva 5 horas e 40 minutos para prover uma carga completa (RENAULT, 2015).

A emissão de gases com efeito de estufa neste veículo é de 0 g/km, considerando apenas a utilização do veículo, ou seja, somente o seu deslocamento, as emissões de gases poluentes produzidos pela produção de energia para carregar o VE e na fabricação do mesmo não serão considerados neste estudo.

De acordo com (SBB, 2015) o preço pago pela energia em Oslo, no plano mais caro é 86,4 NOK/kWh, o que equivale a 0,11 USD/kWh. O carregador considerado para o Renault Zoe, consome, para uma carga completa, e o custo deste carregamento, são baseados nas equações abaixo.

$$C_t = 3,6 \text{ kW} \times 5,666 \text{ h} = 20,4 \text{ (kWh)} \quad (1)$$

$$C_c = 20,4 \text{ kWh} \times 0,11 \text{ USD} = 2,24 \text{ (USD)} \quad (2)$$

Onde,

C_t = carga completa

C_c = custo do carregamento

Logo, o custo para carregar completamente, uma vez, um VE na cidade de Oslo, é de 2,24 USD.

4.3 ESTUDO COMPARATIVO

Com os dados apresentados, é possível determinar o seguinte estudo de caso: uma vez que o VMG tem um alcance de 590 km, com um tanque de combustível cheio, enquanto o VE tem um alcance de 240 km, seria necessário carregar 2,5 vezes o VE de modo que ele possa alcançar a mesma distância do VMG, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de recargas necessárias para o VE percorrer a mesma distância que o VMG é capaz (RENAULT, 2015) (FIAT, 2015)

Distância (km)	240	590	1.800
VE	1 recarga	2,5 recargas	7,5 recargas
VMG	40% do tanque	Tanque cheio	3 tanques cheios

Para comparação, tanto o VMG quanto o VE são analisados durante um mês de uso, ou seja, 1.800 km. Logo, cada VE custaria por mês 16,8 USD, conforme pode ser observado na Tabela 3. Para percorrer a mesma distância o VMG gasta 128,16 USD. A diferença de custo é inegável. Supondo que o mesmo VE fosse carregado no Brasil, objeto deste estudo, o seguinte desenvolvimento é utilizado para calcular o custo da energia necessária para este carregamento.

Tabela 3 – Custo de Carregamento do VE na cidade de Oslo, considerando a média de direção do motorista brasileiro (SBB, 2015)

Quantidade de Recargas	Custo (C_c) em USD
1 recarga	2,24
7,5 recargas	16,8

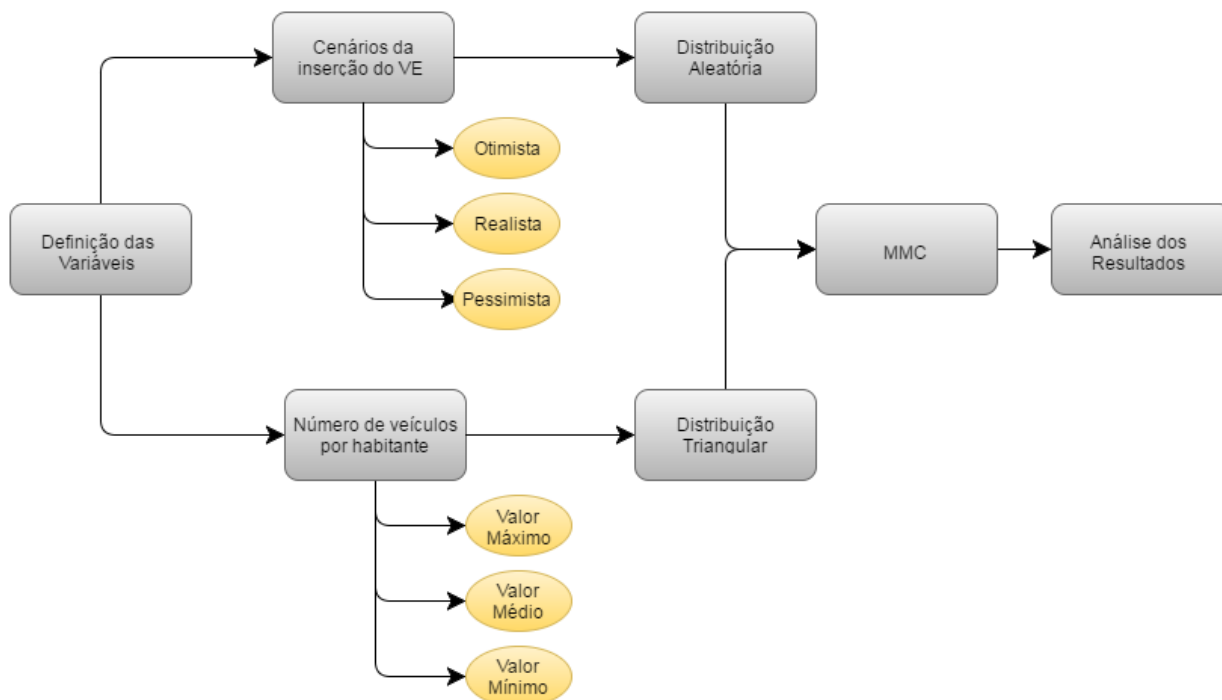
A energia no estado de São Paulo custa 0,37182 R\$/kWh, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), o equivalente a 0,12 USD/kWh, de modo que o veículo elétrico, se carregado na cidade, traz um gasto de 2,48 USD para ser completamente carregado. Seguindo o mesmo cenário, o VE gastaria 6,20 USD para percorrer os mesmos 590 km, o que comprova sua economicidade, uma vez que, mensalmente, o VE custaria 18,36 USD. Então, se apenas os custos diários de locomoção forem considerados, não haveria dúvidas sobre a substituição do VMG pelo VE.

No entanto, se todos os VMGs da cidade de São Paulo forem substituídos por VEs, quantos veículos seriam inseridos no sistema de distribuição paulista? E o mais importante, a matriz energética do Brasil estará preparada para essa inserção? A fim de obter a resposta para estas questões, uma simulação utilizando o Método de Monte Carlo será realizada, para encontrar o valor aproximado de quantos seriam os veículos inseridos caso a mesma quantidade de inserção dos VE na cidade norueguesa de Oslo fossem aplicados em São Paulo.

4.4 APLICAÇÃO DO MMC

Com o objetivo de simular a inserção dos veículos elétricos da cidade de Oslo na cidade de São Paulo, o Método de Monte Carlo será aplicado com a utilização dos dados previamente apresentados. Esta aplicação pode ser sintetizada na Figura 18.

Figura 18 – Aplicação do MMC no Estudo Proposto



4.4.1 Definição das Variáveis

Duas variáveis de entrada foram usadas para a simulação através do Método de Monte Carlo. A primeira variável está relacionada ao cenário de integração do VE no Brasil. Considerou-se uma percentagem otimista, um realista e uma pessimista sobre a inserção, uma vez que não se tem dados reais de como essa inserção ocorreria, conforme pode ser observado na Tabela 4. Com base na percentagem de VE existentes na frota de veículos da cidade de Oslo, uma situação real, que é de 3%, permitiu a definição da primeira variável. Esta variável é correspondente ao cenário da inserção do VE na frota total. Utilizou-se o percentual encontrado na cidade de Oslo como um cenário realista. Para a criação de um cenário pessimista, ou seja, onde a inserção do VE seja menos abrangente, diminui-se o percentual para 2%. De forma similar, para a criação de um cenário otimista, aumentou-se o percentual

para 4%. A pequena variação entre os cenários deve-se amplo entendimento da dificuldade da difusão de novas tecnologias no mercado.

Tabela 4 – Cenários possíveis para a inserção dos VEs

Cenário	Descrição	%VE sobre a frota total
1	Pessimista	2%
2	Realista	3%
3	Otimista	4%

A segunda variável está relacionada com o número de veículos por habitante, onde que foram escolhidos os valores “máximo”, “mínimo” e “médio”, de acordo com os valores conhecidos das respectivas populações e número de veículos das cidades em análise, conforme apresentado na Tabela 5. Com esses dados, é possível identificar o índice de veículos por habitantes nas cidades e países estudados, apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 – Número de habitantes e de veículos

Cidade/País	Nº Habitantes	Nº Veículos
São Paulo	11.895.893	5.160.727
Brasil	204.421.771	47.946.665
Oslo	650.33	242.000
Noruega	5.165.802	2.555.443

Tabela 6 – Número de veículos por habitante

Cidade/País	Quantidade
São Paulo	0,433824
Brasil	0,234548
Oslo	0,403791
Noruega	0,494685

A definição da variável do número de veículos por habitante (NVPH) foi desenvolvida em uma distribuição triangular, na qual os valores são extraídos da Tabela 6. O valor para o NVPH no Brasil foi desconsiderado por ser um valor muito abaixo dos padrões mundiais e por apresentar um desvio padrão muito alto em referência aos outros índices; isso acontece porque há regiões no Brasil que não estão completamente desenvolvidas, o que faz com que a população seja menos propícia a possuir seu próprio veículo. Uma vez que este não é o caso da cidade em estudo, São Paulo, esta variável não será utilizada. Em consequência, definiram-se os critérios apresentados na Tabela 7 para a distribuição representativa da variável NVPH.

Tabela 7 – Determinação do NVPH

Cidade/País	Valor	Resultado
São Paulo	0,433824	MÉDIA
Brasil	0,234548	DESCONSIDERADO
Oslo	0,403791	MÍNIMO
Noruega	0,494685	MÁXIMO

O Gráfico 3 representa a frequência real dos valores resultantes da distribuição do NVPH, divididos em 18 intervalos. E o Gráfico 4 representa a curva de distribuição aleatória para esta mesma variável.

Gráfico 3 – Frequência Estimada da % de NVPH na cidade de São Paulo

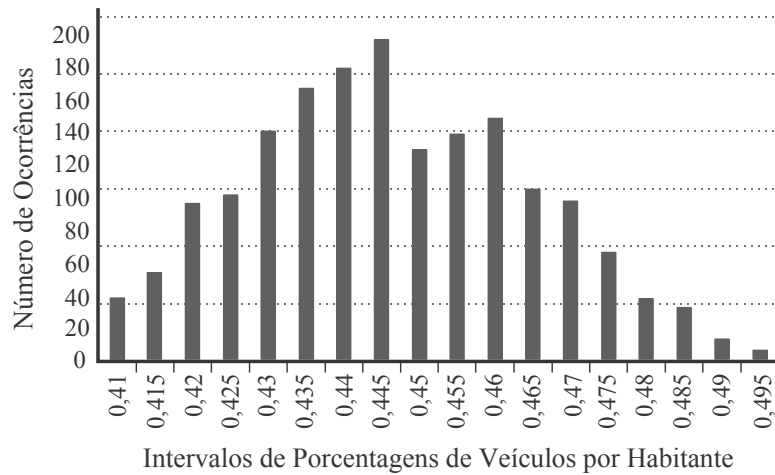
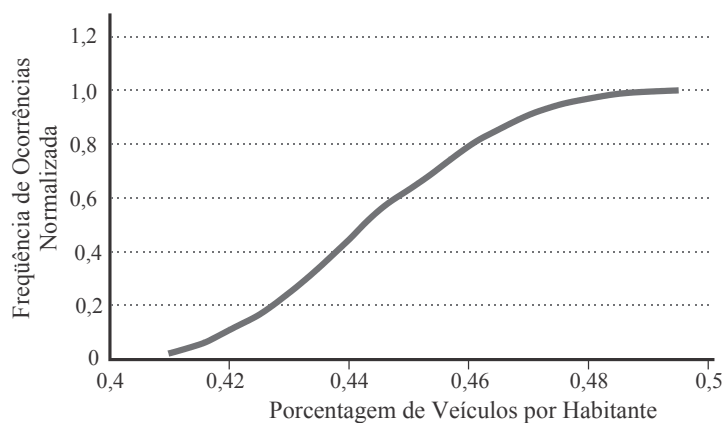


Gráfico 4 – Curva de Distribuição Triangular da segunda variável



4.4.2 Implementação do MMC

Utilizando, os dados randomizados na primeira variável, e, distribuição triangular na segunda variável, os resultados encontrados são apresentados na Tabela 8. Estes foram obtidos após mil iterações do Método de Monte Carlo, e foram categorizados em vinte intervalos para aprimorar o entendimento numérico. Todos os cálculos e representações gráficas foram realizados no Software Microsoft Excel, o qual é uma ferramenta eficiente e de amplo acesso. A Tabela 9 sintetiza os resultados, apresentando os valores máximos, mínimos, desvio padrão e média.

Tabela 8 – Resultados obtidos através da implementação do MMC divididos em vinte intervalos

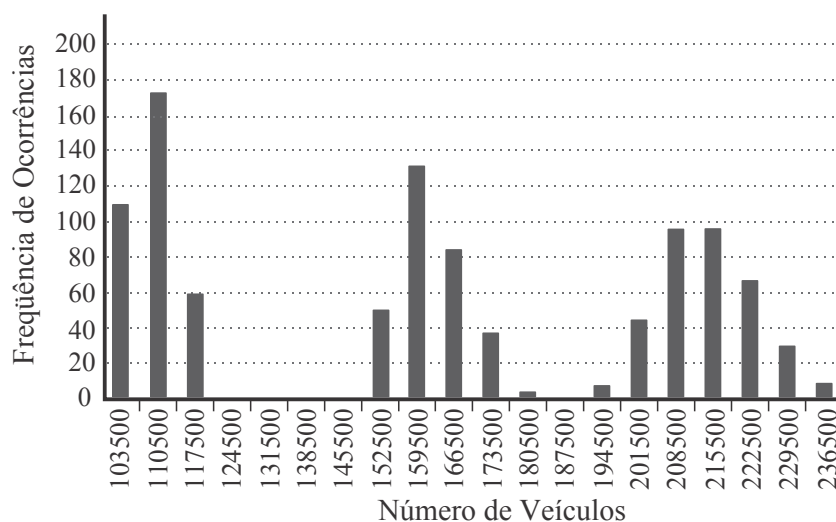
Número do Intervalo	Valor do mínimo do Intervalo	Número de Ocorrências	Número de Ocorrências Acumulado
1	103471,1	110	110
2	110358,2	171	281
3	117245,3	61	342
4	124132,4	0	342
5	131019,5	0	342
6	137906,6	0	342
7	144793,7	0	342
8	151680,8	46	388
9	158567,9	124	512
10	165455	87	599
11	172342,1	43	642
12	179229,2	7	649
13	186116,3	0	649
14	193003,4	1	650
15	199890,5	39	689
16	206777,6	80	769
17	213664,7	106	875
18	220551,8	75	950
19	227438,9	36	986
20	234326	14	1000

Tabela 9 – Simulação do número de veículos em São Paulo

Resultados	Valores
Valor mais Alto	234.326
Valor mais Baixo	96.584,03
Desvio Padrão	38.121,36
Diferença (Alto – Baixo)	137.742
Incrementação (20 intervalos)	6.887,098
Média	158.825,6

Os resultados da aplicação do método podem ser vistos no Gráfico 5, para representar a frequência real dos valores encontrados, conforme apresentado na Tabela 8. É visível o impacto de ambas distribuições utilizadas nas variáveis, uma vez que é possível verificar a distribuição triangular atrelada à segunda variável em três conjuntos de resultados dependentes da primeira variável.

Gráfico 5 – Frequência estimada de veículos inseridos em São Paulo



4.4.3 Resultados de Simulação

Assumindo que o número de veículos elétricos na cidade de Oslo, até dezembro de 2014, fosse implantado em São Paulo, e em posse dos resultados obtidos na simulação do Método de Monte Carlo, é possível prever a quantidade de veículos que seriam substituídos na cidade em análise. Logo, a substituição dos veículos poluentes por veículos elétricos, dadas as condições em estudo, na cidade de São Paulo, seria de 158.826 veículos inseridos na cidade.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Pode-se afirmar que cada veículo poluente emite 2.203 kg de CO₂ por ano, então, com esta substituição, um total de 350.000 toneladas de CO₂ seria prevenida de ser enviada para o meio ambiente, anualmente. A Tabela 10 apresenta as emissões totais do VMG mensalmente e anualmente em São Paulo, e a quantidade de CO₂ que seria reduzida com a inserção dos VEs.

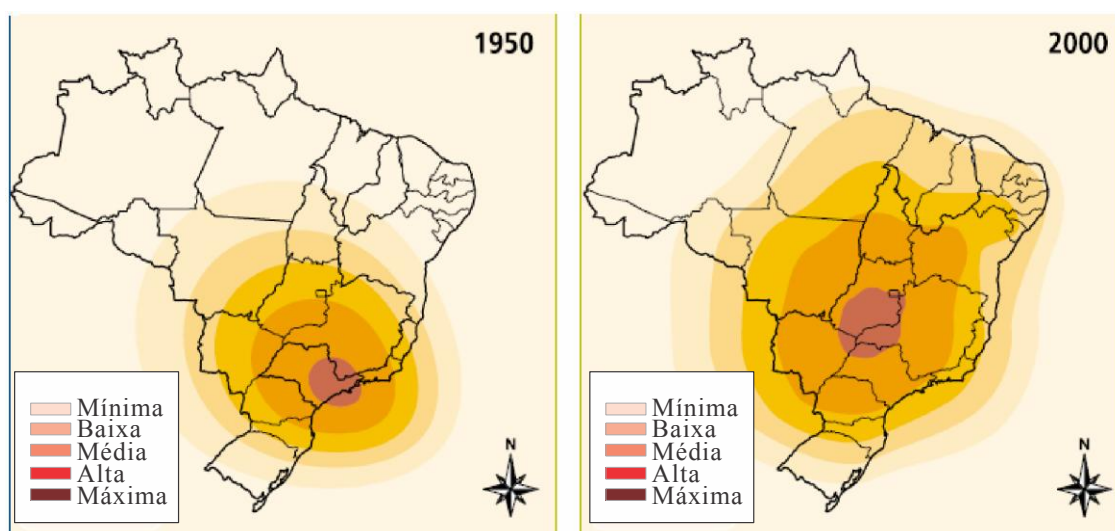
Tabela 10 – Redução das Emissões de CO₂

Emissões de CO₂	Mensalmente (ton)	Anualmente (ton)
VMG	0,991 milhões	11,9 milhões
Redução de Emissões	0,03 milhões	0,35 milhões
Redução Total		3%

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, a matriz energética brasileira é a mais renovável do mundo. A principal razão para isso é o grande impacto das usinas hidrelétricas, que são responsáveis por 75% da geração de energia do país (MME, 2015), sendo capaz de uma geração de 89.000 MW. Ainda assim, apenas um terço de seu potencial é utilizado, devido principalmente, à dificuldade de acesso que algumas regiões apresentam. É possível observar através da Figura 19, a evolução histórica do aproveitamento do potencial hidrelétrico brasileiro, uma vez que instalações desta fonte de energia concentram-se principalmente na região Sudeste, ao redor dos grandes centros urbanos.

Figura 19 – Evolução da capacidade instalada de usinas hidroelétricas (ANEEL, 2002)



Atualmente este panorama está diferente, uma vez que com o desenvolvimento da transmissão, as fontes de recurso mais distantes foram melhor aproveitadas e as usinas hidrelétricas estão distribuídas por todo o país. Incluindo todo o território nacional, existem 140 usinas hidrelétricas em operação, as quais, nos últimos 30 anos evitaram a emissão de cerca de 800 milhões de toneladas de CO₂ para a atmosfera, segundo o Governo Brasileiro (GOV., 2015). No entanto, estas não são a única fonte de geração utilizada no Brasil, como é possível observar nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Matriz de oferta de potência de energia elétrica Brasileira, por categoria, adaptada de (MME, 2015)

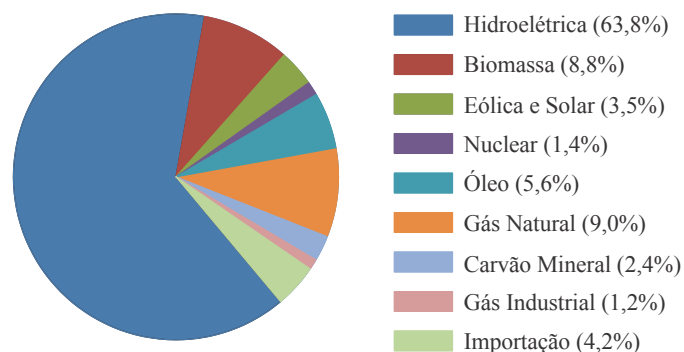
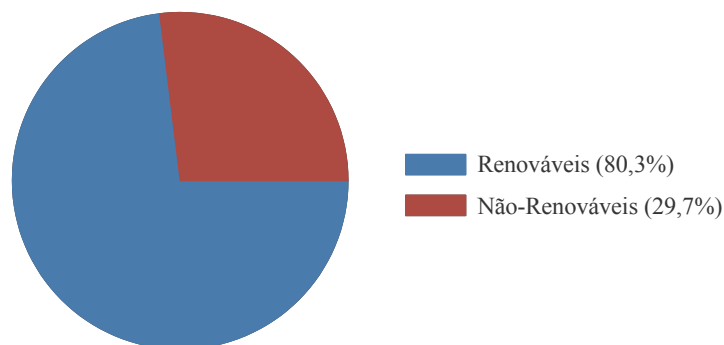


Figura 21 – Matriz de oferta de potência de energia elétrica Brasileira, por tipo de energia, adaptada de (MME, 2015)

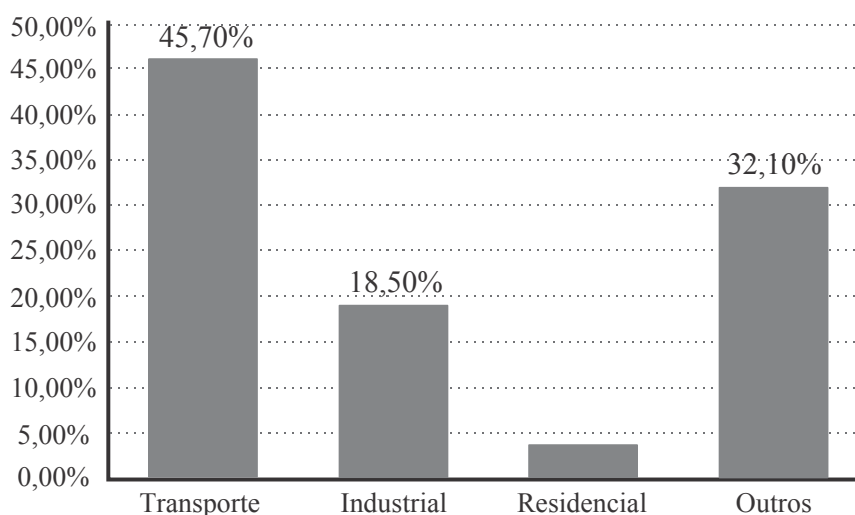


Conforme apontado em (MME, 2015b), a demanda de energia do Brasil cresce em valores superiores ao PIB nacional, e a oferta de energia atingiu em 2014 o valor de 624.254 GWh, o que representa 2,2% da energia mundial. Já a capacidade total instalada de geração de energia no Brasil em 2014 foi de 139,8 GW, o que representa um aumento de 5,6% em relação ao ano anterior. Esses índices ainda estão destinados a crescer anualmente uma vez que existem certas políticas públicas que estão sendo aplicadas no país, tais como Plano Nacional de Energia 2030 e o Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Estes programas têm como objetivo desenvolver fontes de energia renováveis, a fim de instalar novas usinas hidrelétricas nas mais diversas e distantes regiões, como a Amazônia, e mais importante, apoiar a redução da ainda mais a emissão de poluentes. O Brasil terá cerca de 140 novas usinas de geração, com mais de 3.000 MW instalados. Estas medidas irão interferir não apenas na dimensão do sistema de geração, mas também no perfil de distribuição de energia em todo o país, abrindo novas possibilidades de desenvolvimento regional e nacional.

Em relação às emissões de CO₂, a expressiva participação da energia hidráulica proporciona indicadores menores do que a média mundial e de países mais desenvolvidos, um montante de 1,59 tCO₂/tep contra a média mundial de 2,37 tCO₂/tep. Em contrapartida à excelente reputação da geração de energia brasileira, há o setor de transportes.

Em 2014, a frota brasileira de veículos de passeio era de 47,9 milhões de unidades, o que representa 55,3% do total do setor de transportes, segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2015), valor que está subindo cerca de 4% ao ano. Este número reflete diretamente na emissão de poluentes, chegando quase a metade do total de emissões brasileiras (MME, 2015b), tal como apresentado no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Emissão Total Brasileira em Mt CO₂ por setor em 2014, adaptada de (EPE, 2015)



5.1 IMPACTO NA ENERGIA CONSUMIDA

Com os dados do resultado da simulação do MMC, é possível prever como a inserção do VE na rede de energia elétrica vai afetar a matriz energética. Considerando que o motorista comum dirige 60 km/dia, 1800 km/mês, e que cada recarga requer 20,4 kW, vai gerar um consumo mensal de 153 kWh. A quantidade de energia consumida apresentado na Tabela 11 seria inserida no sistema, mensalmente. Para fins de estudo, serão considerados os valores anuais destes dados.

Tabela 11 – Consumo mensal energético do VE (RENAULT, 2015)

Número de Veículos Elétricos	Consumo Energético
1	153 kWh
158.826	24.300 MWh

O estado de São Paulo consome, anualmente, 139.825 GWh, o que representa 25% do consumo de energia total do Brasil, segundo o Balanço Energético do Estado de São Paulo (GESP, 2015). Com a inserção do número de VEs estimado pela simulação do MMC, 158.826 veículos, seria adicionada a quantidade de 291 GWh nestes dados. Isso representaria em torno de 0,20% do consumo de energia de São Paulo. Em termos de consumo do país, este valor representa a percentagem de apenas 0,05%. Considerando a produção anual da usina de Itaipu, a qual responde atualmente à 17% de toda energia consumida no Brasil, e que em 2015 ultrapassou a incrível marca de produção de 89.000 GWh (ITAIPU, 2015), a inserção destes VEs demandaria 0,34% deste total.

5.2 IMPACTO NA POTÊNCIA DEMANDADA

De modo a certificar-se de que a inserção dos VEs seria tolerada pela capacidade de potência gerada brasileira, alguns dados devem ser verificados, considerando São Paulo. É possível, através da Equação 3, determinar a potência demandada pela quantidade de veículos elétricos inseridas na cidade de São Paulo, conforme observado na Equação 4, sempre considerando um fator de demanda unitário.

Sabendo que,

$$VE = 3,6 \text{ (kW)} \quad (3)$$

Logo,

$$P_d = 158.826 \times 3,6 \text{ kW} \cong 0,6 \text{ GW} \quad (4)$$

Onde,

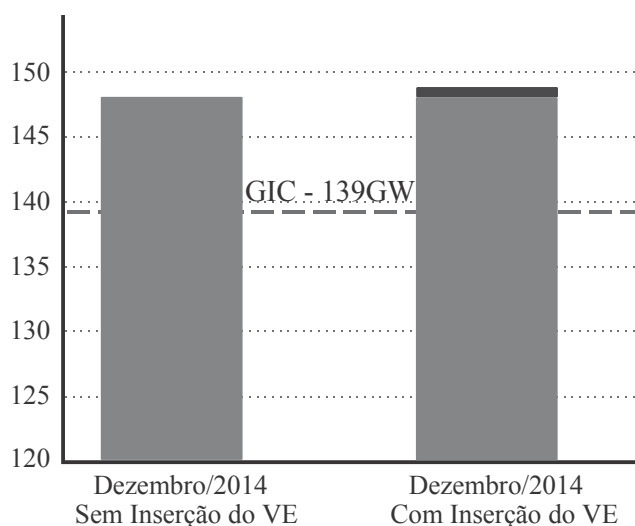
VE = Veículo Elétrico

P_d = Potência Demandada pelos VE inseridos em São Paulo

A demanda instantânea brasileira nos horários de pico, 18h00min - 21h00min horas é de 148 GW, o que já é maior do que a capacidade total instalada, período em que o país tem de importar energia, ou seja, já está com o sistema sobrecarregado. Portanto, é completamente impraticável recarregar os VEs durante este período de tempo. O período mais recomendado para carregá-los, seria quando a demanda instantânea é mais baixa, em torno de 03h00, quando se atinge o valor de 103 GW, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015).

Portanto, seria possível inserir essa quantidade de veículos na cidade de São Paulo, se o período de recarga do VE for respeitado e restrito. No Gráfico 7, o pico de carga é apresentado originalmente e com a inserção dos VEs, e a linha a tracejada representa a capacidade de geração elétrica máxima instalada (CGI) do país.

Gráfico 7 – Análise da carga de pico com a inserção dos VEs na cidade de São Paulo



É importante ressaltar que com a inserção dos veículos elétricos no sistema, considerando a inserção somente na cidade de São Paulo, a potência acrescida de 0,6 GW pode ser suprida se houver um aumento de 0,5% na geração de energia do país.

5.3 CENÁRIO 2030

O governo brasileiro, através do Ministério de Minas e Energia, estabeleceu uma agenda para preparar o país para um cenário de médio prazo. O objetivo deste conjunto de estudos é estimar a carga para os próximos quinze anos e com isso ser capaz de planejar as ações para suprir as necessidades da matriz energética do país ao introduzir o VE da melhor maneira possível.

5.3.1 Perspectivas para o VE no Brasil

Conforme estudos realizados pelo governo brasileiro, e publicados no Relatório da Matriz Energética Brasileira 2030, a população brasileira continuará a crescer pelos próximos 15 anos (MME, 2007). Com esta estimativa é seguro dizer que o número de veículos também

irá aumentar, uma vez que, conforme pode ser observado na Figura 22, o Brasil encontra-se na 4ª posição quanto ao licenciamento de veículos de passeio em um comparativo mundial. De acordo com o Gráfico 8, o país irá atingir quantidade de mais de 70 milhões de unidades.

Figura 22 – Licenciamento de veículos em alguns países entre 2004 e 2013, adaptada de (ANFAVEA, 2015)

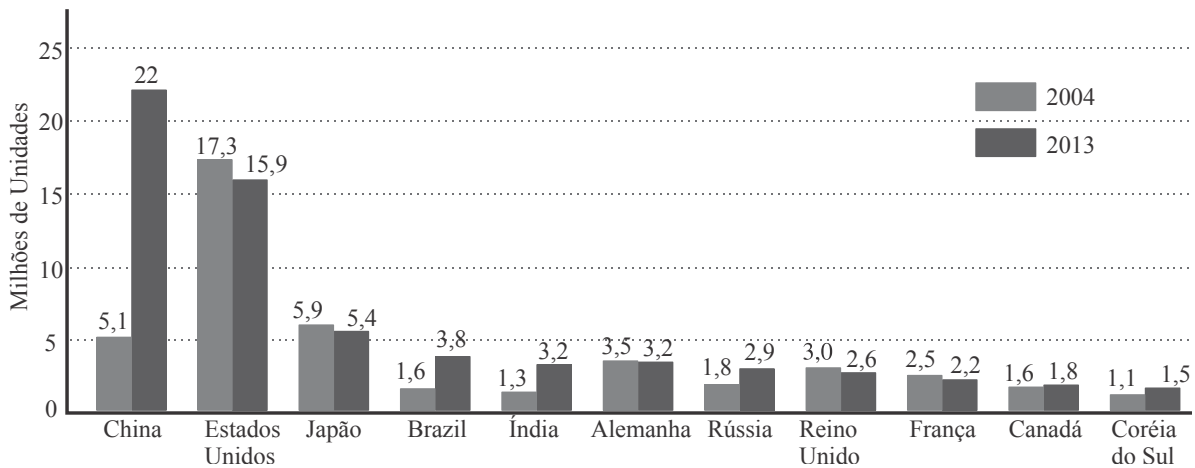
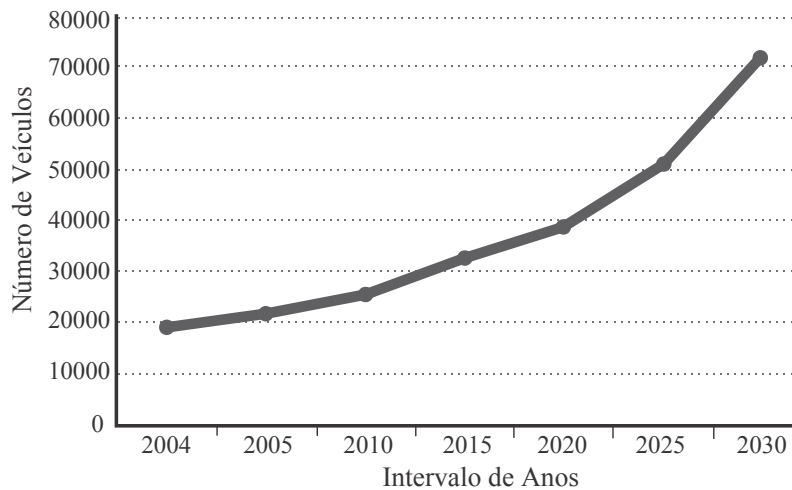


Gráfico 8 – Perspectiva futura do crescimento dos carros de passeio no Brasil (ABVE, 2015)



Em (ABVE, 2015) é apresentado o número de VE registrados no Brasil nos últimos anos e a previsão até 2030, como pode ser observado na Tabela 12. Utilizando os dados da Tabela 12 e uma aproximação linear de primeira ordem, obtida através do Software Microsoft Excel, foi possível determinar a Equação 5, no qual se pode estimar o comportamento do número de VE no Brasil, em função do ano. O resultado desta equação é demonstrado no Gráfico 9.

Tabela 12 – Perspectiva do número de VEs Registrados segundo ABVE (ABVE, 2015)

Ano	VEs Registrados
2012	122
2013	491
2014	855
2015	3,000
2020	30.000
2030	67.000

$$N_{VE} = (k_i \times Ano) - k_0 \quad (5)$$

Onde,

N_{VE} = Número de veículos elétricos

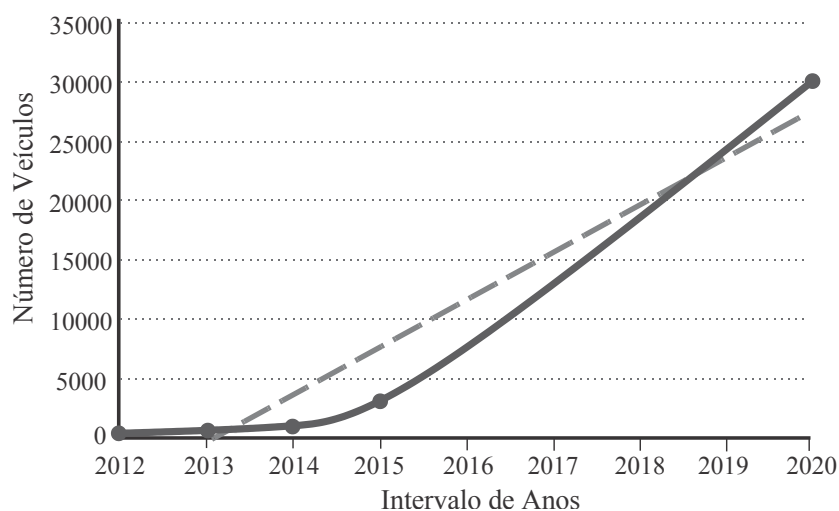
$k_i = 3.986,87$, constante que determina a inclinação da reta

$k_0 = 8.025.854$, constante que representa o valor do eixo vertical na intersecção com o eixo horizontal, ou seja, o número de veículos em $x = 0$.

Logo, para o ano de 2030, tem-se o seguinte resultado:

$$N_{VE} = 3.986,87 \times 2030 - 8.025.854 = 67.492 \quad (6)$$

Gráfico 9 – Perspectiva futura do crescimento dos VEs no Brasil



É possível observar que nesta previsão, o número de VE inseridos no país é mais conservador do que os resultados obtidos através da simulação utilizando o Método de Monte

Carlo, uma vez que considera um acréscimo de 67.492 veículos em todo o território brasileiro. Considerando-se fator de demanda unitário e fazendo uso da Equação 3, tem-se a Equação 7.

$$P_d = 67.492 \times 3,6 \text{ kW} \cong 0,24 \text{ GW} \quad (7)$$

Onde,

P_d = Potência Demandada pelos VE inseridos no Brasil

5.3.2 Perspectivas do Consumo no Sistema Brasileiro

De acordo com (MME, 2006) nos próximos 15 anos a geração de energia irá sofrer um crescimento significativo, porém, o consumo de energia também irá aumentar. O consumo deverá atingir uma média de 1.083 TWh/ano, um crescimento de 104% em comparação com o cenário em estudo. A estimativa do consumo de energia ao longo dos anos, corresponde a uma etapa do processo de planejamento de longo prazo do setor energético, para o qual foi utilizado como ferramenta de referência para estimativa de evolução de demanda o Modelo Integrado de Planejamento Energético – MIPE, o qual é um modelo técnico e econômico que torna possível projetar a demanda e oferta de energia. Tomando como referência este ritmo de expansão e considerando um crescimento harmônico, como ocorreu na década de 2005 a 2015, quando a capacidade instalada sofreu um acréscimo de 43,3% (MME, 2007), a capacidade de geração de energia será acrescida em 88.000 MW, atingindo o valor de 220 GW.

Além disso, estão previstas expansões nas interligações do sistema de distribuição nacional, as quais foram estimadas tendo como referência as rotas alternativas de expansão das interligações estabelecidas como premissas em estudos prévios do governo brasileiro, segundo (MME, 2007). Estas alternativas têm como principal objetivo conseguir integrar as regiões mais afastadas do território nacional e que possuem grande potencial hidrelétrico a ser explorado.

Embora pareça ser um valor pequeno em comparação com o valor do consumo de energia esperado, o desafio consiste em melhorar a eficiência energética em todos os métodos e processos possíveis, de modo que a capacidade instalada possa ser suficiente para absorver as novas necessidades de carga do sistema, o que inclui os veículos elétricos.

Ainda segundo (MME, 2007), a projeção da oferta interna de energia no Brasil, em 2030, será de 5,8 TWh, como pode ser observado na Tabela 13. Este valor faz com que a oferta de energia interna per capita atinja o valor de 3.470 kWh/habitante.

Tabela 13 – Projeção da Oferta Interna de Energia (em GWh) (MME, 2007)

	2005	2010	2020	2030
Energia não renovável	1411	1849	2512	3463
Petróleo e derivados	983	1128	1386	1813
Gás Natural	239	434	659	1006
Carvão Mineral e derivados	160	233	351	447
Urânio e derivados	30	54	116	197
Energia Renovável	1132	1396	2122	3016
Hidráulica e eletricidade	377	440	634	873
Lenha e carvão vegetal	331	327	326	357
Cana-de-açúcar e derivados	351	457	808	1198
Outras fontes primárias renováveis	74	171	353	588
Total	2543	3245	4634	6479

É importante ressaltar que a globalização e a fácil troca de informações nos dias de hoje faz com que haja cada vez mais uma diversificação da matriz energética brasileira. Dentro deste cenário, incluem-se as fontes de energia renováveis, tais como o veículo elétrico, capaz de suprir certas dificuldades do sistema nacional, enquanto previne a emissão de gases poluentes, auxiliando o Brasil a manter sua posição de baixo emissor de poluentes.

5.4 POLÍTICAS DE INCENTIVO AO VE NO BRASIL

De acordo com a (ABVE, 2015), existem diversas ações que estão sendo aplicadas no Brasil para promover a inserção de VE no mercado. Pode-se citar, por exemplo, sete regiões brasileiras onde os cidadãos são isentos do pagamento de Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), que são os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Sergipe e Rio Grande do Sul. Há ainda outros três estados onde este imposto é reduzido, que são São Paulo, Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul.

Nos próximos anos algumas organizações públicas, tais como a Universidade Federal do Rio de Janeiro em parceria com a prefeitura da cidade, irão firmar contratos com investidores privados para a instalação de 25 estações para alugueis de aproximadamente 100 VEs (ABVE, 2015).

Uma determinação importante da Câmara de Comércio Exterior foi a redução da alíquota referente ao Imposto de Importação, de 35% para 0%, para os veículos elétricos e híbridos. Como afirmado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o principal objetivo desta medida é de incluir o país em novas rotas tecnológicas, que pode disponibilizar para o consumidor maior eficiência energética, menor consumo de combustível e redução das emissões poluentes segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento é um exercício essencial para o desenvolvimento sustentável, especialmente para o setor de infraestrutura elétrica, uma das áreas mais importantes do desenvolvimento nacional. A fim de permitir um desenvolvimento orientado deste setor, e para inserir o Brasil em novas rotas tecnológicas, uma quantidade considerável de pesquisa, planejamento e ações são necessárias. Neste cenário, um ramo tecnológico pouco explorado no Brasil ainda é o veículo elétrico.

Os veículos elétricos estão longe de ser uma novidade no mercado. No início do desenvolvimento do setor automobilístico, eles foram concorrentes fortíssimos dos veículos movidos a gasolina, mas devido a falta de incentivo financeiro, perderam espaço e por mais de 80 anos foram uma mera nota de rodapé na história do automóvel.

Ao observar a difusão do veículo a etanol e do “flex-fuel” ao longo da história, é passível se confiar que o veículo elétrico tem as mesmas chances de propor uma alternativa de transporte menos agressiva ambientalmente e com as mesmas qualidades e confortos que os veículos líderes de mercado apresentam atualmente. Outra vantagem que deve ser ressaltada é que mesmo quando a energia é gerada a partir de combustíveis fósseis, como o carvão e o gás natural, o veículo elétrico é capaz de concentrar as emissões nas fontes geradoras de energia, as quais podem ser reguladas; e não nos pontos de consumo, que são numerosos, dispersos e de difícil controle. Em contra partida, há a questão de descarte do “combustível” do veículo elétrico, as baterias, a qual deve ser reciclada ao final de sua vida útil, a fim de não trazer prejuízos ao meio ambiente.

No Brasil, o veículo elétrico, se utilizado em larga escala, associado a políticas de incentivo, é capaz de trazer benefícios estratégicos e ambientais efetivos. Apesar se haver iniciado a difusão de algumas políticas de incentivo no mercado brasileiro, alguns outros estímulos poderiam ser considerados, como a desoneração fiscal, de modo a tornar o preço final ao consumidor próximo ao dos carros convencionais. Há também a necessidade de disseminação de pontos de recarga, e ainda de garantia de preço competitivo para a energia elétrica. A fim de verificar a possibilidade e as consequências da inserção desta tecnologia no mercado brasileiro, algumas pesquisas direcionadas devem ser realizadas.

Para isso, um estudo de caso na cidade de São Paulo foi conduzido, comparando uma suposta substituição de veículos movidos a gasolina com veículos elétricos, utilizando como parâmetro os dados referentes aos VEs existentes na cidade de Oslo. Uma simulação

utilizando o método de Monte Carlo foi utilizada para estimar a quantidade de veículos elétricos que seria inserida na frota veicular de São Paulo.

Após a análise de simulação, conclui-se que a quantidade de veículos substituídos, poderia reduzir milhões de toneladas de emissões CO₂ na atmosfera anualmente. Considerando o impacto positivo no meio ambiente, não há dúvida de que esta situação só traria benefícios.

Em relação ao sistema elétrico, foi possível verificar o impacto do VE no elevado nível de carregamento do sistema nacional. Mesmo com uma capacidade elevada de geração, o Brasil tem que importar energia ou trabalhar em cenários de sobrecarga. Assim, a inserção de VE, somente considerando a cidade em estudo, acrescentaria potência demandada que embora represente percentuais relativamente pequenos de aumento, é uma adição em um sistema de energia saturado. Uma solução possível seria aplicar diferentes taxas sobre a energia para as horas de menor carga do dia utilizando horários diferenciados, como durante a madrugada, por exemplo.

Considerando um cenário futuro com um crescimento de carga linear e uma perspectiva mais conservadora, a inserção VEs não seria tão agressiva quanto os resultados anteriores obtidos pela simulação utilizando o Método de Monte Carlo. Isto se deve ao fato de haver ações e políticas públicas que estão sendo estudadas e aplicadas para o aumento da potência instalada nos próximos anos.

Logo, ainda são necessárias diversas medidas que devem ser implementadas para a completa aceitação dos veículos elétricos no mercado brasileiro, como a redução do preço dos veículos. Além disso, deve ser apresentado os benefícios de inserir o veículo elétrico na rede de energia elétrica brasileira, uma vez que, se corretamente administrado, é capaz de trazer maior estabilidade para o sistema evitando afundamentos de tensão e servindo ainda como bateria em casos de emergência. Assim, a população brasileira aceitaria e investiria nesta tecnologia de forma que a inserção completa deste produto seja efetuada, cumprindo um de seus principais objetivos: melhorar a qualidade de vida da população do Brasil e do mundo.

6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de complementar os dados das análises obtidas nesta dissertação, considera-se importante elaborar outros cenários de inserção do veículo elétrico no mercado brasileiro, os quais possam ser estimados por mais de uma ferramenta de simulação a fim prever com mais

precisão a quantidade absoluta desta inserção. Em seguida, uma divisão regional do país em estudo deve ser realizada, a fim de que se possa comparar a inserção do VE com as respectivas curvas de carga de cada região, possibilitando uma análise mais aprofundada do impacto desta inserção na rede de distribuição. É importante ressaltar que cada região terá um índice de inserção diferenciado, uma vez que fazem parte de um país de muita diversidade socio-econômica. Pode-se então, analisar a capacidade de geração de energia que seria necessária para atender cada região, e então, fazer uma estimativa nacional mais precisa.

Um estudo sobre a diferenciação tarifária de horários de carregamento diferenciados, seria o próximo passo. Esta análise, além de trazer benefícios financeiros para os usuários do VE, permitiria impactos positivos na curva de carga do país, trazendo maior estabilidade para o sistema e possibilidade de sistemas de armazenamento de energia diferenciados.

6.2 ARTIGOS VINCULADOS AO TRABALHO DESENVOLVIDO

Este trabalho de dissertação permitiu a publicação e apresentação de um artigo científico em um congresso internacional.

- **EEVC – 2015 – European Battery, Hybrid & Fuel Cell Electric Vehicle Congress**

Título do trabalho: EV Insertion in Brazil: the Enviromental Impact on the Energy Matrix

Data/Local: Bruxelas, Bélgica; 01 a 04 de Dezembro de 2015.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas De Energia Elétrica do Brasil**. 2002. Disponível em < http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf >. Acessado em 27 de Fevereiro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Página da Internet**. 2015. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>>. Acessado em 12 de Dezembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Página da Internet**. 2015. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/>>. Acessado em 25 de Janeiro de 2016.

AMARAL, E. G. do. **Veículo elétrico com sistema energético híbrido: Célula de combustível/baterias eletroquímicas**. Biblioteca Digital da Unicamp, 1998.

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional - Métodos e Modelos para Análise de Decisões**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS. **Página da Internet**. 2015. Disponível em <<http://www.abve.org.br/>>. Acessado em 8 de Janeiro de 2016.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Página da Internet**. 2015. Disponível em <<http://www.anfavea.com.br/>>. Acessado em 27 de Janeiro de 2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Página da Internet**. Disponível em < <http://www.bcb.gov.br/pt-br/paginas/default.aspx> > . Acessado em 17 de agosto de 2015.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. 2011.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade.** 2012. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

BORBA, B. S. M. C. **Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro.** 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro PPE/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

CAPURUÇO, R., CAPRETZ, L., 2012. **Evaluation and Assessment of Recommenders Using Monte Carlo Simulation.** Proceedings of the 20th conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization: 3rd International Workshop on Social Recommender Systems. Canada. 2012.

CHERNICK, M. R. **Bootstrap Methods: A Practitioner's Guide,** New York: John Wiley & Sons. 2. ed. Estados Unidos da América: WILEY, 2007. 400 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Página da Internet.** Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acessado em 26 de setembro de 2015.

COWAN, R., HULTÉN, S., **Escaping Lock-in: The Case of Electric Vehicle.** 1996. Technological Forecasting and Social Change, v. 53, pp. 61-79.

DARGAY, J., GATELY, D. E SOMMER, M. **Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030.** Energy Journal, 2007.

DARMAKEERTHI, C.H., MITHULANANTHAN, N., SAHA, T. K. **Overview of the Impacts of Plug-in Electric Vehicles on the Power Grid.** 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Página da Internet.** Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/>> . Acessado em 25 de Maio de 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional**. 2015. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf>. Acessado em 12 de Fevereiro de 2016.

Energy Information Administration U.S. **History of Electric Vehicles**. U. S. Department of State. 2009. Disponível em <http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/light_duty/fsev/printable_versions/fsev_history.html>. Acessado em 09 de janeiro de 2015.

ENERGY RESEARCH CENTRE OF NETHERLANDS. **An International Perspective on Electric Transportation – Survey on Electric Road Transport 2012**. 2012. Disponível em <www.ecn.nl/docs/library/report/2012/e12043.pdf>. Acessado em 28 de Maio de 2015.

FARIAS, L. R. Aplicação de lógica fuzzy no controle do consumo de energia em veículos elétricos. 2014. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2014.

FIAT. **Página da Internet**. 2015. Disponível em <<http://www.fiat.com.br/>>. Acessado em 25 de Janeiro de 2016.

FIGUEIRÓ, I. C. **A tarifa horária para os consumidores residenciais sob o foco das redes elétricas inteligentes – REI**. 2013. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. **Página da Internet**. 2015. Disponível em <<http://www.fipe.org.br/>>. Acessado em 27 de Novembro de 2015.

GAMMARIELLO, R.; CARLOCK, M. Development of hourly vehicle activity for estimating vehicle emissions. **Seventh CRC on-road vehicle emissions workshop**. 1997. São Diego, Califórnia, Estados Unidos da América, 1997.

GOVERNO BRASILEIRO. **Página da Internet.** 2010. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>>. Acessado em 24 de Janeiro de 2016.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Balço Energético do Estado de São Paulo - Ano base 2014.** 2015. Disponível em <www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/724.pdf>. Acessado em 25 de Fevereiro de 2016.

HOYER, K. G. **The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of electric and Hybrid Cars.** Utilities Policy. S/l: Elsevier, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Página da Internet.** Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acessado em 24 de outubro de 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Página da Internet.** 2014. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2014.pdf>. Acessado em 15 de Julho de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Ev Outlook 2015.** Disponível em <<http://www.iea.org/evi>>. Acessado em 16 de janeiro de 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics.** Ano base 2014. Disponível em <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html>>. Acessado em 11 de novembro de 2015.

ITAIPU BINACIONAL. **Página da Internet.** 2015. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/>>. Acessado em 10 de Dezembro de 2015.

ITAIPU BINACIONAL. **Um Carro Elétrico Brasileiro Na Itaipu**. 2012. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/itaipunamidia/um-carro-eletrico-brasileiro-sim-na-itaipu>> - Acessado em 14 de Novembro de 2015.

LEITMAN *et al.* **Build your own electric vehicle**. Nova York: McGraw Hill, 2009.

LI, Y., CROSSLEY, P. A. **Monte Carlo study on impact of electric vehicles and heat pumps on LV feeder voltages**. 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection - DPSP. 2014.

LIMA, J. C. **Impacto dos veículos elétricos sobre as decisões das concessionárias de energia**. 2012. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, SCm 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Matriz Energética Nacional 2030**. 2007. Disponível em < <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/matriz-energetica-nacional-2030>>. Acessado em 10 de Dezembro de 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Página da Internet**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/>>. Acessado em 13 de maio de 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**, 2006. Disponível em < http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf>. Acessado em 15 de Fevereiro de 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira Ministério de Minas e Energia Exercício de 2014**. 2015b. Disponível em < <http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Ener%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acessado em 12 de Fevereiro de 2016.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Página da Internet.** Disponível em , <http://www.mdic.gov.br/sitio/> >. Acessado em 22 de Janeiro de 2016.

MORGADO, D. G. R. **Controlo de velocidade de um veículo elétrico autónomo. Faculdade de Ciências e Tecnologia.** 2013. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **Página da Internet.** 2015. Disponível em <http://www.ons.org.br/analise_carga_demanda/>. Acessado em 15 de Fevereiro de 2016.

QUATRO RODAS, REVISTA. **Página da Internet.** 2015. Disponível em <<http://quatorrodas.abril.com.br/>>. Acessado em 15 de Novembro de 2015.

RENAULT . **Technical Specification Renault Zoe.** 2015. Disponível em <www.media.renault.com/download/media/specialfile/45115_1_5.aspx>. Acessado em 10 de Setembro de 2015.

SAMPAIOA, B. R., *et. al.*, Efficiency analysis of public transport systems: Lessons for institutional planning. **Transportation Research Part A: Policy and Practice** Volume 42, Issue 3, March 2008, Pages 445–454.

SANTOS, G. A. G. D. et al. Carro elétrico, a revolução geopolítica e econômica do século XXI e o desenvolvimento do Brasil. **Revista OIKOS.** 2009. Disponível em <<http://www.desenvolvimentistas.com.br/desempregozero/wp-content/uploads/2009/12/santos.pdf>>. Acessado em 09 de outubro de 2015.

SIMON, E. C., **Avaliação De Impactos Da Recarga De Veículos Elétricos Em Sistemas De Distribuição.** 2013. 149P. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

STRUBEN, J., STERMAN, J. D. **Transition Challenges for Alternative Fuel Vehicle and Transportation Systems**. 2006. Environment and Planning B: Planning and Design, v. 35 n. 6, pp. 1070-1097.

THE GOVERNMENTAL STATISTICS NORWAY FOR GREEN CARS. **Página da Internet**. 2015. Disponível em <<http://www.gronnbil.no/>>. Acessado em 6 de Setembro de 2015.

THE GOVERNMENTAL STATISTICS NORWAY. **Página da Internet**. SSB, 2015. Disponível em <<http://www.ssb.no/en/transport-og-reiseliv/statistikker/bilreg/aar/2015-03-25>>. Acessado em 6 de Setembro de 2015.

THE WORLD BANK ASSOCIATION. **Norway Statistics**. 2015. Disponível em <<http://www.worldbank.org/en/country/norway>>. Acessado em 8 de Setembro de 2015.

URBAN FORESIGHT *et al.*. **EV City Casebook – 50 Big Ideas Shaping the future of Electric Mobility**. Disponível em <http://www.cleanenergyministerial.org/Portals/2/pdfs/EVI_2014_EV-City-Casebook.pdf>. Acessado em 10 de julho de 2015.

WORLD BANK. **Gross domestic product Reports from the World Bank IBRD IDA**. 2015. Disponível em <<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>>. Acessado em 2 de Janeiro de 2016.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Página da Internet**. Disponível em <<http://wbcspublications.org/>>. Acessado em 6 de janeiro de 2016.

ZHANG, B., SUN, Y., LI, B., LI, J. **A Modeling Method for the Power Demand of Electric Vehicles Based on Monte Carlo Simulation**. 2012. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012 Asia-Pacific.