JOÃO PAULO NIGGLI SILVA

**Avaliação de impactos da inserção dos veículos elétricos nos
sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e
EDP ESCELSA**

São Paulo

2014

JOÃO PAULO NIGGLI SILVA

**Avaliação de impactos da inserção dos veículos elétricos nos
sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e
EDP ESCELSA**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
sendo parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Sistemas de
Potência

Orientador: **Prof. Dr. José Aquiles
Baesso Grimoni**

São Paulo

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 19 de maio de 2014.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catálogo-na-publicação

Silva, João Paulo Niggli

Avaliação de impactos da inserção dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP ESCELSA / J.P.N. Silva. -- versão corr. -- São Paulo, 2014.

121 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Veículos especiais 2.Sistemas elétricos de potência 3.Efeito estufa 4.Gases I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

“Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela.”

Albert Einstein (1879-1955)

Agradecimentos

Ao meu Orientador Professor José Aquiles Baesso Grimoni, por me auxiliar nas dúvidas, e trazer importantes acréscimos ao trabalho desenvolvido

A todas as empresas e suas equipes que participaram do projeto de pesquisa e desenvolvimento, Fundação Instituto de Administração USP, Instituto de Energia e Ambiente USP, Sinapsis. Todos contribuíram e muito para o projeto obter o sucesso que atingiu.

Aos colegas da EDP, principalmente ao Lucca Zamboni, que me incentivou a iniciar o mestrado na USP, e está sempre disposto a explicações e discussões sobre o tema o que me auxiliou muito a enriquecer este trabalho.

Aos meus pais, Jane e João que sempre me incentivaram a ir atrás dos meus sonhos e crescer pessoal e profissionalmente.

A minha querida avó e professora, Catharina que está sempre disposta a conversar e sempre tem ótimas contribuições a fazer independentemente do tema abordado.

A minha noiva e companheira, Priscilla pelo apoio na realização deste mestrado.

Ao Programa de Pesquisa & Desenvolvimento Tecnológico em Energia Elétrica, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar qual seria o impacto da inserção dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição de energia elétrica de duas distribuidoras brasileiras, a EDP Bandeirante e EDP ESCELSA. Como esta tecnologia ainda não se encontra em utilização no Brasil, será adotada uma abordagem prospectiva, de modo a projetar o crescimento da frota de veículos elétricos até o ano de 2020. Para que se possa simular em uma sub estação, qual será o impacto da adoção desta tecnologia. Utilizando-se das projeções de crescimento da frota, também serão quantificados o impacto na matriz energética nacional e nas emissões de gases do efeito estufa.

Palavras chave: Distribuição de energia, Gases do efeito estufa, Impactos, Projeção de frota, Veículos elétricos.

Abstract

This work, aims to evaluate the impact of the electric vehicles insertion on two power distribution utilities, EDP Bandeirante and EDP ESCELSA. How the electric vehicles aren't a reality on Brazil, an prospective approach will be adopted, to project the growth of the electric vehicles fleet until the 2020 year, so that can be simulated in one substation, the impact that would be caused by the adoption of this technology. Using these projections, the impact on Brazilian energetic matrix, and the greenhouse gas emissions will be calculated to.

Key Words: Electric vehicles, Fleet projection, Greenhouse gas, Impacts, Power distribution.

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABVE	Associação Brasileira de Veículo Elétrico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa tensão
CEL	Cenário Cidade Elétrica
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
ETD	Estação Transformadora de Distribuição
FDP	Funções de Distribuição de Probabilidade
GEE	Gases do Efeito Estufa
MT	Média tensão
PDCA	<i>Plan Do Check Act</i>
SE	Subestação
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SE VVE	Subestação Vila Velha
VE	Veículo Elétrico
VEP	Veículos Elétricos Plugáveis
VEH	Veículos Elétricos Híbridos
VEHPs	Veículos Elétrico Híbridos Plugáveis

Lista de Figuras

Figura 1-1 Área de Concessão da EDP Bandeirante.....	23
Figura 1-2 Área de Concessão da EDP ESCELSA.....	24
Figura 2-1 Diagrama do Alimentador de Distribuição BT – Dublin.....	28
Figura 2-2 - Fluxograma - Gerador de perfis de carga dos consumidores e VEs	29
Figura 2-3 - Perdas no Alimentador	30
Figura 2-4 - Diagrama da Topologia de Rede - Portugal	31
Figura 2-5 - Curvas de Carga por Classe de Consumidor	32
Figura 2-6 - Fluxograma para Inserção de VEs na Rede	33
Figura 2-7 - Consumo de um VE em Dia Típico	34
Figura 2-8 - Impacto na Curva de Carga da Inserção de 10% de VEs	35
Figura 2-9 - Carregamento da Rede Considerando 4 Cenários	36
Figura 2-10 - Variação de Perfis de Carga com o Tempo	39
Figura 2-11 – Participação dos VEs na venda de carros novos	39
Figura 2-12 - Carga dos Transformadores X Carregamento de VEHPs.....	40
Figura 2-13 - Perdas no Sistema em Diferentes Cenários de Carregamento	41
Figura 2-14 - Simulação de Carregamentos de VEs Fora do Horário de Pico	42
Figura 2-15 - Perfis de Carga - Regiões Residencial e Comercial	43
Figura 2-16 - Perfis de carga para o carregamento descontrolado e ótimo	44
Figura 3-1 - Bateria do Imiev da Mitsubishi.....	53
Figura 3-2 - Bateria do Leaf da Renault-Nissan	54
Figura 3-3 - Forma de Onda - Carregamento Tensão Constante	55
Figura 3-4 - Forma de Onda - Carregamento Tensão e Corrente Constantes.....	56

Figura 3-5 - Padrões de Conectores Utilizados no Mundo	57
Figura 4-1 - Fluxo do Trabalho	59
Figura 4-2 - Eletropostos Instalados no Instituto de Energia e Eletrotécnica da USP	62
Figura 4-3 - Veículos que serão testados	63
Figura 4-4 - Fluxograma da abordagem determinística de alocação de VEs	66
Figura 4-5. Fluxograma de Alocação Probabilística.....	67
Figura 4-6 - Curva de Carga de Alimentadores – Horário de Ponta e Fora de Ponta.....	69
Figura 4-7 - Fluxograma – Etapas à serem realizadas para a avaliação do impacto dos VEs em sistemas de distribuição.....	70
Figura 5-1. Projeção de crescimento da frota de veículos - EDP Bandeirante(x1000)	75
Figura 5-2 - Projeção número de licenciamentos – EDP Bandeirante(x1000)	75
Figura 5-3. Projeção de crescimento da frota de veículos - EDP ESCELSA(x1000)	76
Figura 5-4. Projeção número de licenciamentos – EDP ESCELSA(x1000)	76
Figura 5-5. Área de atuação dos respondentes	78
Figura 5-6. Envolvimento dos respondentes com o assunto VEs	78
Figura 5-7. Horário de recargas VEs - Delphi.....	79
Figura 5-8. Exemplos de VEs enquadrados no cenário solução corporativa	81
Figura 5-9. Exemplo de VE enquadrado no cenário nicho verde chique	82
Figura 5-10. Exemplo de VE enquadrado no cenário meu carrinho elétrico	84
Figura 5-11. Exemplo de VE enquadrado no cenário cidade elétrica	85
Figura 5-12. Comportamento da corrente no Quick Charger - 20/03/2013	87
Figura 5-13. Fator de potência no Quick Charger - 20/03/2013	88

Figura 5-14. Comportamento da corrente no Home Charger - 09/10/2013.....	90
Figura 5-15. Correntes Harmônicas de ordem 1, 2, 3, 4 e 5 no Home Charger – 09/10/2013	91
Figura 5-16. Correntes Harmônicas de ordem 7, 9, 11, 13 e 15 no Home Charger – 09/10/2013	91
Figura 5-17. Índice de distorções Harmônicas no Home Charger – 09/10/2013.....	92
Figura 5-18. Eletroposto de carregamento lento utilizado na simulação	94
Figura 5-19. Eletroposto de carregamento rápido utilizado na simulação	95
Figura 5-20. Eletroposto misto (saídas para carregamento lento e rápido) utilizados na simulação	95
Figura 5-21. Clusters formados e eletropostos.....	96
Figura 5-22. Carga dos VEs - CEL Sem controle - 2013 -2020	99
Figura 5-23. Curva de Potência na SE VVE - CEL Sem controle - 2013 -2020	100
Figura 5-24. Distribuição de tensão na SE VVE - CEL Sem controle - 2013 -2020.....	102
Figura 5-25. Distribuição do carregamento na SE VVE - CEL Sem controle - 2013 -2020.....	103
Figura 5-26. Carga dos VEs - CEL 22, 24 e 26	105
Figura 5-27. Curva de potência na SE VVE no ano de 2020 – CEL 22, 24 e 26.....	105
Figura 5-28. Distribuição de tensão na SE VVE - CEL 22, 24, 26	106
Figura 5-29. Distribuição de carregamento na SE VVE - CEL 22, 24, 26.....	107
Figura 5-30. Carga dos VEs - CEL 23, 25, 27	108
Figura 5-31. Curva de potência na SE VVE – CEL 23, 25 e 27	109
Figura 5-32. Perdas na SE VVE – CEL 23, 25 e 27	109

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Níveis de Tensão – Carregamento Sem Controle.....	35
Tabela 2.2 - Níveis de Carregamento – Carregamento Sem Controle	35
Tabela 2.3 - Capacidades e carga máximas	43
Tabela 2.4 - Número de VEs considerados na análise	44
Tabela 3.1 - Características e custo de alguns tipos de baterias utilizadas em VEs .	52
Tabela 4.1 - Infraestrutura de Carregamento	62
Tabela 5-1. Participação da frota de automóveis em branco EDP Bandeirante e em azul EDP ESCELSA.	73
Tabela 5-2. Modelos para projeções tendenciais e crescimento da frota	74
Tabela 5-3. Tabela resumo com a quantidade de VEs resultante de cada um dos cenários	86
Tabela 5-4. Harmônicos as 10:35 no Quick Charger - 20/03/2013	89
Tabela 5-5. Cenários simulados	93
Tabela 5-6. Características e participação dos VEs utilizados na simulação	94
Tabela 5-7. Evolução do mercado da região atendida pela SE VVE	97
Tabela 5-8 Acréscimo de potência CEL Sem controle - 2013 -2020	98
Tabela 5-9. Percentual de barras com tensão deteriorada - CEL Sem controle - 2013 -2020	101
Tabela 5-10. Evolução das perdas - CEL Sem controle - 2013 -2020	104
Tabela 5-11. Acréscimo de potência CEL 22, 24 e 26	104
Tabela 5-12. Percentual de barras com tensão deteriorada - CEL 22, 24, 26	106

Tabela 5-13. Perdas na SE VVE - CEL 22, 24, 26.....	107
Tabela 5-14. Níveis de penetração máximos atingidos - CEL 23, 25, 27	108
Tabela 5-15. Previsão do ano de estresse - CEL 23, 25 e 27	110
Tabela 5-16. Consumo de eletricidade e potência necessária para atender a demanda dos VEs	111
Tabela 5-17. Emissões de GEEs por automóveis a combustão em 2020.....	112
Tabela 5-18. Emissões de GEEs considerando a adoção dos VEs.....	113

Sumário

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA	21
1.2	JUSTIFICATIVA.....	22
1.3	OBJETIVOS.....	22
1.4	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	25
2	ESTADO DA ARTE	27
2.1	INTRODUÇÃO.....	27
2.2	ESTUDO DUBLIN – IRLANDA	27
2.3	ESTUDO DE PORTUGAL.....	30
2.4	ESTUDO EPRI – EUA.....	37
2.5	OUTROS ESTUDOS.....	41
2.6	MAPEAMENTO DOS TRABALHOS EXISTENTES NA LITERATURA.....	45
3	TECNOLOGIA EXISTENTE.....	50
3.1	INTRODUÇÃO.....	50
3.2	VEÍCULOS ELÉTRICOS – CARROS DE PASSEIO	50
3.3	BATERIAS.....	52
3.4	ELETROPOSTOS	54
4	METODOLOGIA	58
4.1	INTRODUÇÃO.....	58
4.2	CONSULTA DELPHI	59
4.3	CENÁRIOS DE PENETRAÇÃO (2010 – 2020)	61
4.4	DADOS DE VEÍCULOS E BATERIAS	61
4.5	DADOS DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO	63
4.6	PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE	64
4.7	ALGORITMOS DE ALOCAÇÃO DE VES	65
4.8	TIPOS DE CARREGAMENTO NA REDE	68
4.9	AVALIAÇÃO DO IMPACTO NA REDE	69
4.10	CÁLCULO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA(GEE)	71
4.11	CÁLCULO DO IMPACTO NA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL.....	71
5	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	72
5.1	INTRODUÇÃO.....	72
5.2	PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DA FROTA DE VES	72
5.3	CENÁRIOS DE PENETRAÇÃO DE VES.....	77
5.4	MEDIÇÕES REALIZADAS NOS ELETROPOSTOS	86
5.5	SIMULAÇÃO DE IMPACTO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	93
5.6	IMPACTO NA MATRIZ ENERGÉTICA	110
5.7	EMISSÕES DE GEE	112

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONTINUIDADES DO TRABALHO.....	114
6.1	CONCLUSÕES.....	114
6.2	CONTINUIDADES DO TRABALHO	116
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA

Os Veículos Elétricos (VE) são atualmente entendidos como veículos automotores que utilizam pelo menos um motor elétrico para acionamento da(s) roda(s) (ABVE, 2009). Tais veículos se caracterizam, principalmente, pela alta eficiência energética e baixa ou nula emissão de poluentes e de ruídos. Estes são utilizados para vários fins.

Os VEs podem ser classificados em:

- Veículos Elétricos Plugáveis (VEP) – Movidos somente a bateria carregada na rede elétrica;
- Veículos Elétricos Híbridos (VEH) – Não são conectados à rede elétrica, sendo movidos a combustão, com uma bateria que é carregada durante a utilização do veículo para minimizar o consumo de combustível e maximizar a eficiência energética do mesmo;
- Veículos Elétrico Híbridos Plugáveis (VEHPs) – Podem ser movidos tanto a combustão quanto conectados à rede elétrica para carregar sua bateria.

A inserção do veículo elétrico no mercado brasileiro e de diversos outros países do mundo é uma discussão atual, pois algumas mudanças serão causadas pela adoção de veículos que dependem da rede elétrica como:

- Crescimento da demanda por energia elétrica;
- Possibilidade de utilização de VEs como vendedores de energia para o sistema de distribuição;
- Oportunidades para as concessionárias comercializarem energia e serviços para o reabastecimento destes veículos.

Neste trabalho o escopo será restrito aos VEs da categoria automóvel que é um veículo destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, mais o condutor (CTB, 1997), que utilizam as tecnologias VEP e VEHP, os quais, por demandarem energia elétrica para o seu carregamento, trazem impactos ao sistema de distribuição.

1.2 JUSTIFICATIVA

Para a rede elétrica, o VE é uma carga móvel com características que podem ser positivas ou negativas para a operação da rede, dependendo das diretrizes e incentivos adotados em sua utilização. Por exemplo, a adoção de tarifas horo sazonais que podem auxiliar a concessionária a deslocar demanda de ponta de seus sistemas para horários com menos consumo, consequentemente aumentando o fator de carga dos sistemas de distribuição.

Caso os ciclos de carregamento adotados pelos usuários dos VEs sejam realizados de forma descontrolada e sem planejamento, podem trazer impactos negativos para os sistemas de distribuição, aumentando ainda mais a demanda por energia elétrica nos horários de ponta dos sistemas de distribuição que acarreta maiores investimentos para as concessionárias de energia elétrica.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho se propõe a estudar os impactos dos VEs nos sistemas de duas concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil, e qual seria o impacto da adoção desta tecnologia na oferta de energia elétrica e nas emissões de Gases do Efeito Estufa(GEE) locais.

As áreas de concessão que serão estudadas são:

EDP Bandeirante, cuja a área de concessão se localiza no Estado de São Paulo, e se estende da região do Alto do Tietê, Vale do Paraíba até o Litoral Norte do estado, Figura 1-1.

O mapa apresenta o território do Estado de São Paulo dividido em seus municípios, cada um identificado por um nome próprio e uma cor única para facilitar a distinção. As cores utilizadas são tons de verde, amarelo, laranja, azul claro, rosa, cinza e branco. A fronteira com o Rio de Janeiro é indicada à direita, e o Oceano Atlântico está no canto inferior direito.

- EDP ESCELSA, Figura 1-2 que possui a concessão para distribuir energia elétrica em 95% do estado do Espírito Santo.

Figura 1-2 Área de Concessão da EDP ESCELSA

Fonte: Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN(2009)

Com a finalidade de analisar o impacto da adoção dos VEs nestas regiões, foi realizado um levantamento bibliográfico na literatura nacional e internacional, para identificar o estado da arte da utilização dos VEs e diretrizes de planejamento de sistemas que vem sendo adotados para suportar esta nova carga.

Será implementada a infraestrutura para realizar o carregamento de VEs e obter as curvas de carga dos mesmos, com o objetivo de obter informações para realizar simulações da utilização dos VEs nos sistemas de distribuição da EDP Bandeirante e EDP ESCELSA, utilizando a ferramenta de planejamento de redes de distribuição SinapGrid.

Conhecendo qual será a frota de VEs em 2020, e qual será a quantidade de energia elétrica demandada por estes, será calculado qual a emissão de GEEs dos veículos a combustão e comparada com a adoção da frota de VEs, de modo a quantificar o impacto ambiental da adoção desta nova tecnologia.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Para a abordagem do assunto em questão foi elaborada esta dissertação, apresentada em 06 capítulos:

- Capítulo 1 - INTRODUÇÃO: Objetivos do trabalho, organização do documento, motivação, relevância, justificativa e contribuições do trabalho;
- Capítulo 2 – ESTADO DA ARTE: Levantamento feito na bibliografia publicada em eventos e periódicos nacionais e internacionais, sobre estudos do impacto de Veículos Elétricos Plugáveis em sistemas de potência;
- Capítulo 3 – TECNOLOGIA EXISTENTE: Tecnologia disponível, tanto dos VEs quanto dos componentes que são necessários para a sua utilização, tais como Baterias e Eletropostos.
- Capítulo 4 - METODOLOGIA: Aspectos da metodologia, utilizados para realizar a medição e o registro das curvas de carga dos principais VEPs que se encontram a venda no mercado nacional, a simulação e análise do impacto destes veículos no sistema de distribuição das empresa EDP Bandeirante e EDP ESCELSA, e a metodologia que será adotada para realizar o cálculo das emissões

de Gases do Efeito Estufa e o comparativo entre o uso de VEs e Veículos a combustão.

- No Capítulo 5 - RESULTADOS DE MEDIÇÕES: impactos obtidos nas simulações dos VEs nas redes de distribuição da EDP Bandeirante e EDP ESCELSA, na matriz energética e nas emissões de gases do efeito estufa.
- No Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONTINUIDADES DO TRABALHO: Considerações finais, sobre os resultados apresentados no capítulo 5. Assim como serão apresentadas algumas oportunidades de continuidade do trabalho desenvolvido.

2 ESTADO DA ARTE

O levantamento e análise do estado da arte dos impactos na rede provenientes do carregamento de veículos elétricos plugáveis a ser apresentado nos próximos itens, foi organizado em duas etapas. Na primeira, são apresentados com detalhes, estudos mais abrangentes e que contemplam os principais tópicos utilizados no desenvolvimento da metodologia. Na segunda, é realizado um resumo dos mais relevantes artigos levantados na literatura científica especializada.

Ao final do capítulo, é mostrado como os países do mundo que possuem VEs em sua frota, incentivam a adoção desta tecnologia através de políticas públicas.

2.1 INTRODUÇÃO

Com a finalidade de centrar a pesquisa bibliográfica nos temas que permitam construir uma adequada metodologia para gerenciar o impacto provocado pela inserção dos veículos elétricos na rede de distribuição, são apresentados os principais estudos segundo três blocos do problema:

- Metodológico;
- Dados de entrada;
- Resultados avaliados.

2.2 ESTUDO DUBLIN – IRLANDA

Richardson (2011), apresenta um método estocástico desenvolvido para levar em conta as incertezas associadas ao carregamento de VEs. A técnica é executada sobre uma rede residencial de teste utilizando o software de simulação de sistemas de potência, *DIgSILENT PowerFactory*.

Os resultados buscados pelos autores foram: o impacto do carregamento de VEs nos níveis de tensão e o carregamento de componentes e perdas na rede, considerando o comportamento probabilístico dos proprietários de VEs.

2.2.1 Rede e Perfis de Carga

A rede de teste utilizada neste estudo representa um alimentador de distribuição baixa tensão (BT) em uma área suburbana de Dublin, Irlanda.

O diagrama esquemático do alimentador está apresentado na Figura 2-1. O alimentador radial fornece energia a 74 clientes domésticos residenciais e é alimentado através de um transformador de 400 kVA, com tensões de 10 kV na média tensão (MT) e 400 V na BT. Constituído de 432 m de cabo de alimentação subterrâneo trifásico e um total de 2.160 m de cabo de serviço monofásico.

Figura 2-1 Diagrama do Alimentador de Distribuição BT – Dublin

Fonte: Richardson (2011)

2.2.2 Metodologia – algoritmos

A técnica de análise estocástica foi desenvolvida para incorporar incertezas que envolvem o carregamento de VEs em uma rede BT residencial, o que inclui as incertezas que podem ser pré-determinadas antes de cada simulação (como a localização de VEs, tipo de VE) e incertezas que seriam determinadas ao longo da simulação (como, tempo de conexão e demanda de energia).

O método usa funções de distribuição de probabilidade (FDPs), predefinidas para determinar o comportamento da carga residencial na rede e o carregamento

dos VEs. Essas FDPs são baseadas em dados reais, obtidos em ensaios de campo ou dados criados para representar padrões de uso de VE esperados.

O programa computacional desenvolvido gera os perfis de demanda do consumidor residencial e os perfis de carregamento do VE para o período de 365 dias. Um resumo do método é dado na Figura 2-2. a aplicação desta análise retorna ao autor, o impacto sobre os níveis de tensão, carregamento térmico nas linhas e perdas na rede.

Figura 2-2 - Fluxograma - Gerador de perfis de carga dos consumidores e VEs

Fonte: Richardson (2011), tradução nossa

2.2.3 Resultados – Impactos Avaliados

Dos impactos avaliados pelo autor, destaca-se o aumento das perdas em ambas as estações ilustradas na Figura 2-3, a qual apresenta quais seriam as perdas em kWh no alimentador, considerando os cenários de penetração de 0%, 10% e 50% na frota de VEs da região. Pode-se observar que caso o sistema de distribuição não passe por adequações, o nível de perdas no alimentador aumentaria consideravelmente com a adoção dos VEs.

Figura 2-3 - Perdas no Alimentador

Fonte: Richardson (2011), tradução nossa

2.3 ESTUDO DE PORTUGAL

Peças Lopes (2011) apresenta em seu artigo, um ambiente de simulação para integrar com sucesso os veículos elétricos em sistemas de distribuição de energia elétrica. No trabalho apresentado pelo autor, são descritos os envolvidos nos processos e suas atividades. Além disso são apresentados resultados de simulações, a fim de ilustrar os potenciais impactos/benefícios decorrentes da integração na rede elétrica de VEs, compreendendo a análise em estado estacionário e a análise do comportamento dinâmico.

2.3.1 Dados da Rede Elétrica

A Figura 2-4 descreve a topologia da rede MT utilizada na pesquisa. É uma rede típica semiurbana, com tensão 15kV, concebida em uma configuração radial, onde será monitorada à tensão durante as simulações no pontos identificados de 1 à 5 e qual seria o carregamento nos trechos de linha identificados como A, B, C, D e E.

Figura 2-4 - Diagrama da Topologia de Rede - Portugal

Fonte: Peças Lopes (2011)

Para realizar a simulação considerando 24 horas de operação da rede, foi utilizada uma curva de carga típica para uma rede semiurbana, ilustrada na Figura 2-5.

Figura 2-5 - Curvas de Carga por Classe de Consumidor

Fonte: Peças Lopes (2011)

2.3.2 Metodologia – algoritmos

Para a quantificação do número máximo de VEs que podem ser integrados com segurança na rede elétrica, considerando um carregamento sem controle, foi utilizado um algoritmo que considera uma quantidade inicial de VEs distribuída em pontos pré-definidos chamados de nodos(NO) e calcula o fluxo de potência para a rede, considerando estas cargas, e caso as condições de operação continuem factíveis, acrescenta em 1% a penetração de VEs, até atingir a penetração máxima.

A cada rodada o algoritmo, distribui as cargas de VEs na rede de acordo com o consumo médio de cada uma das residências. O fluxograma deste algoritmo é representado na Figura 2-6.

Figura 2-6 - Fluxograma para Inserção de VEs na Rede

Fonte: Peças Lopes (2011)

2.3.3 Resultados – Impactos Avaliados

Foram simulados alguns tipos de carregamento, testados até a exaustão da rede estudada, os quais estão elencados abaixo:

- Carregamento sem controle, realizado sem incentivos tarifários e sem controle pelo lado da concessionária, o que acaba culminando na realização de diversas recargas no horário de pico do sistema;
- Carregamento considerando a adoção de uma tarifa dual, com valor mais elevado no horário de ponta;
- Carregamento inteligente, controlado pela distribuidora de forma a otimizar a utilização do sistema de distribuição.

Considerando a curva de carregamento de um VE, apresentada na Figura 2-7.

Figura 2-7 - Consumo de um VE em Dia Típico

Fonte: Peças Lopes (2011)

Primeiramente o autor realizou simulações utilizando carregamento sem nenhum tipo de controle para verificar qual a máxima penetração de VEs que a rede suportaria sem necessitar adequações, e chegou à um nível de 10% de penetração suportado.

Na Figura 2-8, é possível verificar que a demanda por eletricidade, quando se considera a inserção de 10% de VEs na frota que utiliza a rede em estudo, já incorre em um aumento significativo no consumo do horário de ponta, e na

Tabela 2.1 e Tabela 2.2, pode se ver tanto uma queda de tensão quanto um aumento do nível carregamento, que prejudicariam o funcionamento do sistema.

Figura 2-8 - Impacto na Curva de Carga da Inserção de 10% de VEs

Fonte: Peças Lopes (2011)

Tabela 2.1 - Níveis de Tensão – Carregamento Sem Controle

Cenários	Hora de Pico	Tensão do barramento (p.u.)				
		1	2	3	4	5
Sem VE	21	0,961	0,962	0,962	0,962	0,964
10% de VE	21	0,951	0,951	0,951	0,951	0,953

Fonte: elaborado com informações de Peças Lopes (2011)

Tabela 2.2 - Níveis de Carregamento – Carregamento Sem Controle

Cenários	Hora de Pico	Níveis de carregamento nos trechos (%)					
		A	B	C	D	E	F
Sem VE	21	71,7	63,5	43,2	43,1	42,9	35,1
10% de VE	21	80,1	71,4	49,6	49,3	49,2	39,4

Fonte: elaborado com informações de Peças Lopes (2011)

Quando o tipo de carregamento foi alterado, o sistema de distribuição suportou uma quantidade maior de VEs sendo carregados, sem que houvesse

necessidade de reforços para atender à esta demanda, como pode se observar na Figura 2-9. que ilustra graficamente os seguintes cenários:

- a. Rede sem VEs;
- b. Rede com 10% de penetração de VEs considerando o carregamento sem controle;
- c. Rede com 14 % de penetração de VEs considerando a adoção de uma tarifa dual; e
- d. Rede com 52 % de penetração de VEs considerando a adoção do carregamento inteligente.

Figura 2-9 - Carregamento da Rede Considerando 4 Cenários

Fonte: Peças Lopes (2011)

Observando estas figuras pode-se verificar que a adoção de uma tarifa dual, ou do carregamento inteligente, permite um nível de penetração de VEs muito maior

do que com a adoção do carregamento descontrolado, antes de expor a rede a condições que prejudiquem a sua operação.

2.4 ESTUDO EPRI – EUA

J. Taylor et. al. (2010) apresenta um ambiente analítico desenvolvido para avaliar o impacto do carregamento de Veículos Elétricos Plugáveis(VEPs), Veículos Elétricos Híbridos Plugáveis(VEHPs), na operação dos sistemas de distribuição, como parte de um grande estudo colaborativo entre concessionárias, mostrando resultados parciais do impacto de VEs em alimentadores de distribuição de energia elétrica.

2.4.1 Ambiente de Simulação

O ambiente analítico desenvolvido permite avaliar o impacto da utilização dos VEs sobre a rede elétrica em relação ao carregamento, regulação de tensão, redução de vida útil de transformadores, perdas e níveis de distorção harmônica. Os impactos são determinados assumindo a localização de VEs na rede de distribuição, onde os VEs são alocados pelo sistema, considerando a magnitude e a duração do ciclo de carregamento.

Com o propósito de determinar os impactos no sistema e em componentes da rede individuais, o ambiente leva em consideração uma análise determinística e estocástica das variáveis temporal e espacial.

A análise está baseada em um cenário de penetração representativo, de um a cinco anos, após a comercialização de VEHPs, onde a participação dos VEs no mercado ainda é baixa.

O ambiente de análise, utiliza a informação de um circuito do sistema de distribuição, características de carga das baterias dos VEHPs e comportamento provável dos consumidores para construir condições prováveis do sistema.

2.4.2 Dados da Rede Elétrica

A topologia de rede está composta pelos seguintes elementos subestação, rede primária, ramais, transformadores MT/BT e rede secundária.

Foram analisadas as topologias de rede pertencentes a várias concessionárias, considerando critérios como:

- Consumidores ligados;
- Níveis de penetração esperados;
- Características dos circuitos.

Todos os circuitos foram modelados num simulador de sistemas de distribuição que considera as iterações das variações de padrões de carga de VEHPs e variações de carga convencional diária e sazonal.

O histórico anual de perfis de carga de pontos específicos da rede de distribuição primária, e de classes de consumidores típicos, foram utilizados para alocar a cota de carga para todos os consumidores no modelo.

2.4.3 Perfis de Carga

Os perfis de carregamento de VEHPs influenciam como o sistema é impactado em relação as cargas diárias e anuais. Assim, um aspecto do estudo realizado foi determinar qual seria a influência em uma rede em vários perfis de carga. A demanda de eletricidade no tempo ou o perfil de carga é definido para o tamanho de bateria, eficiência do carregador, quilômetros percorridos pelos VEs e tipos de carregamento.

A Figura 2-10, ilustra a variação dos perfis de carga com o tempo de carregamento.

Figura 2-10 - Variação de Perfis de Carga com o Tempo

Fonte: J. Taylor et. al. (2010)

São projetados os níveis de penetração de VEs nos mercados consumidores, para o período de 2010 à 2030, Figura 2-11.

Figura 2-11 – Participação dos VEs na venda de carros novos

Fonte: J. Taylor et. al. (2010)

2.4.4 Resultados – Impactos Avaliados

Na pesquisa realizada por Taylor et. al (2010), através de uma análise determinística, foram avaliados os impactos no carregamento dos trechos da rede, nos perfis de tensão, no desequilíbrio entre fases, nas perdas elétricas, e na perda de vida útil de transformadores.

Os resultados de carregamento dos transformadores, perdas no sistema e aceleração da redução de vida útil dos transformadores são apresentados nas figuras abaixo.

Na Figura 2-12, é mostrado qual seria o percentual de carregamento dos transformadores sobre a quantidade de VEPs por consumidores, pode se verificar que caso os consumidores tenham mais que 2 VEPs 100% dos transformadores estariam operando com sobrecarga.

Figura 2-12 - Carga dos Transformadores X Carregamento de VEHPs

Fonte: J. Taylor et. al. (2010)

A Figura 2-13, retrata qual seriam as perdas em diferentes cenários de carregamento, e em diversos horários pico e fora de pico.

Figura 2-13 - Perdas no Sistema em Diferentes Cenários de Carregamento

Fonte: J. Taylor et. al. (2010)

2.5 OUTROS ESTUDOS

Messias et. al (2011) abordou o tema do impacto dos VEs sobre a demanda elétrica e sobre as infra-estruturas de distribuição de energia.

Embora existam uma série de diferentes projeções sobre a evolução da penetração de VE no mercado, prevê-se que num futuro não distante, cada casa terá um novo VEP.

Segundo esse estudo, o carregamento de baterias dos VEPs em horários fora do pico, pode ser uma oportunidade para aumentar a eficiência de utilização do sistema elétrico, possibilitando a utilização das redes de distribuição em horários com baixo consumo de energia elétrica. O desafio apresentado nessa visão é como conseguir uma distribuição de VE ideal ao longo da curva de carga do sistema, preenchendo os vales da curva de carga, fora da hora do pico de carga.

O artigo está focado nas formas de regular o impacto dos veículos elétricos considerando a demanda de energia elétrica existente. O resultado obtido, levando em conta o fato de que os consumidores seriam devidamente incentivados pela

tarifa de energia elétrica a ter um comportamento perfeito, realizando as cargas de seus VEs fora do horário de pico, está ilustrado na

Figura 2-14. Pode se observar que os carregamentos preencheriam os vales existentes na curva de carga da rede estudada, realizando um aplainamento da mesma.

Figura 2-14 - Simulação de Carregamentos de VEs Fora do Horário de Pico

Fonte: Messias et. al (2011)

David Steen et al. (2011) apresentaram um trabalho sobre a programação da carga de veículos elétricos para o planejamento e operação ótimos de sistemas de distribuição.

Foram considerados como dados de entrada, os perfis de carga para um dia da semana com alta demanda no ano de 2008, nas duas áreas apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Pode-se observar que a área residencial tem um pico na parte da manhã e outro durante a noite (ou seja, quando as famílias acordam e quando eles voltam para casa do trabalho), enquanto que na área comercial o pico ocorre ao meio dia, ou seja, quando a maioria das pessoas estão no trabalho. O pico de carga das redes também é apresentado na Tabela 2.3.

Figura 2-15 - Perfis de Carga - Regiões Residencial e Comercial

Fonte: David Steen et al. (2011)

Tabela 2.3 - Capacidades e carga máximas

	Residencial	Comercial
Capacidade Máx. (MW)	8,1	10,45
Capacidade Máx. com redundância(MW)	7,04	9,37
Carga Máx.(MW)	7,91	7,63

Fonte: elaborada com informações de David Steen et al. (2011)

A Tabela 2.4 apresenta o número de veículos considerados para análise na área residencial e comercial, respectivamente.

Tabela 2.4 - Número de VEs considerados na análise

	Residencial		Comercial	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Quantidade de VEs	137	1091	624	120

Fonte: elaborada com informações de David Steen et al. (2011)

Neste estudo, dois modelos de carregamento são considerados. Um referido como carregamento descontrolado, onde o usuário conecta o veículo a rede no momento que lhe é mais conveniente (coincidindo com o horário de pico e chegada dos consumidores em casa) e outro conhecido como programação ótima, que minimiza as perdas no sistema através da realização do carregamento de uma forma otimizada.

As simulações foram realizadas considerando os cenários de carregamento descontrolado e carregamento ótimo, com base no tempo de carregamento e número de veículos, sendo obtidos os perfis de carga para as áreas residencial e comercial respectivamente.

O perfil de carga para uma penetração de 100% de VEs é apresentado na Figura 2-16 para as áreas residenciais e comerciais.

Figura 2-16 - Perfis de carga para o carregamento descontrolado e ótimo

Fonte: David Steen et al. (2011)

Como se pode ver nos perfis de carga apresentados na Figura 2-16, com a adoção do carregamento ótimo, além de se otimizar a utilização do sistema de distribuição, pois passa-se a ter um consumo considerável de eletricidade em horários em que o sistema antes tinha pouca carga, passa a ser possível uma maior penetração de VEPs sem que sejam necessários investimentos na rede de distribuição.

2.6 MAPEAMENTO DOS TRABALHOS EXISTENTES NA LITERATURA

A partir do levantamento e análise de artigos científicos que tratam dos impactos dos VEs nos sistemas de distribuição, foram levantados os aspectos e dimensões estudadas nos artigos, e posteriormente foram agrupados em quatro tópicos principais.

2.6.1 Dimensão 1 - Tipos de análise e enfoque

O enfoque dado nos artigos foi de avaliação das reservas de capacidade projetadas nos segmentos de distribuição, transmissão e geração, em relação a cenários de penetração de VEPs. Nos casos em que o estudo foi suportado também por um projeto piloto, foram realizadas simulações utilizando redes reais e informações medidas em campo. Porém a maioria dos trabalhos levou em conta abordagens conceituais e dados aproximados de casos reais. As dimensões que foram abordadas nos artigos estudados foram:

- Programação de investimentos
- Casos reais
- Cenário de penetração
- *Vehicle-to Grid* (V2G) - Fontes distribuídas

2.6.2 Dimensão 2 - Tipos de carregamento

Nos artigos estudados, foi verificada a relevância da forma e do tipo de carregamento das frotas de VEs no impacto das redes de distribuição. Sendo abordados os tipos de carregamento mais utilizados atualmente:

- Carregamento Inteligente quando a empresa de distribuição monitora e controla o carregamento dos VEs, para otimizar o uso do sistema de distribuição;
- Carregamento baseado na resposta do cliente à tarifas que variam de preço em resposta à alguns fatores como horário e demanda;
- Carregamento controlados de maneira centralizada, etc.

O que pode se observar na maioria dos estudos que abordaram esta dimensão é que o controle, principalmente dos horários de carregamento, possibilita um aumento significativo da penetração dos VEs, maximizando a utilização da infraestrutura existente e postergando a necessidade de investimento nos sistemas elétricos.

As dimensões referentes ao tipo de carregamento, abordadas foram:

- Carregamento inteligente de VEs;
- Controle de demanda;
- Carregamento ótimo de VEs;
- Carregamento sem controle;
- Carregamento fora da hora de ponta de demanda do sistema;
- Estratégias tarifárias;
- Gerenciamento de energia;
- Infraestrutura de carregamento.

2.6.3 Dimensão 3 - Elementos de simulação

Na dimensão elementos de simulação, foram utilizados diversos tipos de modelagem determinísticas ou probabilísticas e variáveis utilizadas nas modelagens de impacto propostas:

- Desagregação espacial e temporal
- Enfoque determinístico
- Enfoque estocástico/ probabilístico
- Fluxo de potência probabilístico
- Distância percorrida probabilística
- Localização do domicílio com VE e tipo do VE probabilísticas
- Número VEs por domicílio
- Perfis de uso do VE dos motoristas
- Estados de carregamento das baterias
- Simultaneidade dos carregamentos
- Tipos de bateria por tipo de carro e tipo de recarga
- Carregamento domiciliar e no local de trabalho
- Tipo de operação do VEHP
- Tipo do VEP (VEP ou VEHP)
- Capacidade da bateria

2.6.4 Dimensão 4 -Impactos avaliados

Na dimensão dos impactos avaliados, foram consideradas nas análises às consequências de operação e planejamento da rede elétrica:

- Impacto nos transformadores de distribuição
- Impacto no nível de tensão na rede
- Impacto no carregamento dos trechos
- Impacto nas perdas
- Impacto nas redes de baixa tensão
- Impacto nas redes de média tensão

- Análise da qualidade da energia elétrica
- Efeitos na geração e transmissão de energia
- Impacto no preço da energia

Com base no levantamento do estado da arte, foram selecionados os principais pontos, a serem avaliados no estudo, que serviram como base para o desenvolvimento da metodologia adotada, neste trabalho, para a simulação dos impactos.

2.7 UTILIZAÇÃO DOS VES NO MUNDO

Alguns países já incentivam a adoção dos VEs, através de políticas públicas, e outras formas de incentivos que auxiliam esta tecnologia a se tornar mais atrativa a população

2.7.1 Israel

Como uma medida fiscal para estimular a compra de veículos elétricos, o Governo de Israel irá reduzir o imposto sobre a compra de veículos elétricos de 79% para 10% até 2014, e para 30% após 2019.

2.7.2 Japão

Incentivos fiscais para veículos movidos a combustíveis eficientes foram introduzidas em 2001 e levaram a uma penetração acelerada de veículos de combustível eficiente, que, já em 2004, cumpriam os padrões de eficiência de combustível estabelecidos para 2010. FIA (2009).

O Japão continua a ser o líder mundial em relação à pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de bateria, apresentando o maior orçamento de pesquisa e desenvolvimento para o desenvolvimento de baterias de lítio.

2.7.3 Suécia

Carros elétricos e híbridos são cobertos por um desconto de carro verde que aloca 1.000 coroas suecas (SEK) para indivíduos que comprem um carro novo verde.

O sistema de tributação é baseado em CO₂. O imposto de circulação anual consiste de uma taxa base de 360 SEK mais 15 SEK para cada grama de CO₂ emitido acima de 100 g / Km. Para veículos movidos a combustíveis alternativos, o imposto é 10 SEK por grama emitido acima 100g/Km ACEA (2009).

2.7.4 Portugal

Carros elétricos e outros sistemas de propulsão de energia alternativa serão beneficiados por isenção de taxas de circulação e de inscrição fiscal. E pessoas que comprem um carro novo com emissões inferiores a 140gCO₂/km recebe um bônus de até € 1.000 ACEA (2009).

O governo estabeleceu o incentivo fiscal de €5.000 na compra do veículo elétrico para uso privativo e €6.500 em forma de abatimento se utilizar o veículo antigo na compra para incentivar a transição tecnológica do veículo EDP (2011).

A meta de expansão da frota de veículos elétricos é de 11.000 carros em 2015 e 160.000 carros em 2020. Mas existem estimativas mais otimistas que estimam a inserção de 800.000 veículos elétricos no país, representando 10% das estimativas totais da produção mundial para 2020 EDP (2011).

3 TECNOLOGIA EXISTENTE

3.1 INTRODUÇÃO

A história nos conta que os VEs surgiram antes dos veículos a explosão baseados em combustíveis fósseis, Michael (2007). O veículo a explosão acabou se impondo como opção de transporte pela sua grande vantagem quanto a autonomia e a não preocupação da época com as emissões atmosféricas dos veículos urbanos, principalmente aquelas que geram gases de efeito estufa. Outra desvantagem que inviabilizou o carro elétrico foi o estado tecnológico das baterias na época, que possuíam baixa eficiência e densidade de carga.

O objetivo deste capítulo é apresentar uma visão sucinta sobre a tecnologia existente no que envolve os VEs, e os componentes necessários para a sua operação, baterias e carregadores de baterias ou eletropostos.

3.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS – CARROS DE PASSEIO

“São considerados VEs, veículos acionados por pelo menos um motor elétrico” (HOLLANDA, 2011 apud ABVE, 2011). Dependendo da forma de acionamento das baterias os VEs podem ser classificados da seguinte forma (ABVE, 2013):

- Veículo Elétrico Plugável (VEP): usa energia de baterias carregadas na rede elétrica;
- Veículo Elétrico Híbrido (VEH): a energia elétrica é fornecida por um gerador a bordo acionado por um Motor de Combustão Interna (MCI) que usa um combustível convencional como fonte de energia;
- Veículo Elétrico Híbrido “Plug-in” (VEHP), um VEH equipado com mais baterias que tanto usa energia da rede, quanto do gerador embarcado;
- Veículo Elétrico com Células a Combustível (VECC) usa a energia gerada por uma célula a combustível a partir do hidrogênio.

Segundo ABVE (2011), As principais vantagens do uso do motor elétrico em relação ao Motor de Combustão Interna (MCI) são as seguintes:

- O rendimento na conversão em energia elétrica em energia mecânica é da ordem de 90% enquanto que no MCI o rendimento da energia contida no combustível em energia elétrica é da ordem de 25%;
- Os custos de manutenção são menores e a vida útil dos VEs são maiores, pois o motor elétrico tem menos peças móveis quando comparado com o MCI;
- Emissão de ruídos sonoros é menor;
- No VE a energia que freia o carro pode ser convertida em energia elétrica e carregar a bateria através da frenagem regenerativa, o que pode recuperar até 30% da energia inercial e potencial do veículo;
- O VE não consome energia quando está parado no trânsito, ao contrário do carro convencional, cujo motor fica em operação;
- O torque de partida do VE é superior ao de um veículo que utiliza MCI, pois este possui um sistema de embreagem e câmbio, que dissipa até 20% da energia do motor;
- O carro elétrico tem um custo por km (cerca de 1/3) menor que o MCI, se compararmos as tarifas de energia (energia elétrica e gasolina) e os rendimentos dos sistemas atuais;

Segundo os autores, Andrade e Gomes (2010), Castro e Ferreira (2010), e Coutinho et. al (2010) ainda existem algumas desvantagens:

- Custo elevado das Baterias e peso e volume ocupado por elas;
- Autonomia limitada, o que em maiores distâncias cria uma dependência das opções de recarga rápida ou até de troca de veículo ou de bateria;
- Logística de carregamento, ou seja, a localização dos postos de recarga e as opções disponíveis de forma de recarga (rápida, lenta, troca de baterias);

- Necessidade de reforço na rede elétrica, principalmente nos horários de pico, que dependerá dos hábitos de carregamento dos usuários;
- Aumento da emissão de gases na geração, dependendo da fonte de energia utilizada no país para gerar energia elétrica.

3.3 BATERIAS

Vários tipos de baterias estão sendo utilizadas em VEs, e cada uma delas possui as suas características. As baterias mais utilizadas segundo os autores, Leduc e Muñoz (2009), Andrade e Gomes (2010), SGORME (2011), Francfort (2010), e Ornelas(2009) são chumbo-ácida, Níquel Zinco, Níquel MH, Íon de Lítio, Lítio Polimérica e as de Sódio de alta temperatura.

Na Tabela 3.1, pode-se verificar as características dos diferentes tipos de baterias utilizados nos VEs.

Tabela 3.1 - Características e custo de alguns tipos de baterias utilizadas em VEs

Bateria	Energia(Wh/kg)	Potência(W/kg)	Ciclos de carregamento	Custo(R\$/kWh)
Chumbo-ácido	35 - 45	250	400 - 500	320 - 420
NiMH	70	350	1350 - 1550	1560 - 1860
NiNaCl ₂	90 - 125	150 - 200	1000 - 3000	600 - 1400
Íon de Lítio	150 - 200	400	1000 - 3500	1800 - 2400

* Considerando a cêmbio R\$ X U\$ = 2,00

Fonte: elaborada com base em ABVE, 2011

3.3.1 Baterias utilizadas em Carros Comerciais

Através de dados obtidos com os fabricantes, serão descritas as características das baterias dos dois VEPs que estão disponíveis para comercialização no mercado brasileiro, e que serão utilizados nas medições realizadas no âmbito deste trabalho, o iMIEV da fabricante Mitsubishi Motors e o Leaf da fabricante Renault-Nissan.

O i MiEV é movido por um motor compacto de 47 kW, que desenvolve 180 Nm (133 lb-ft) de torque. A velocidade máxima que ele atinge é de 130 km/h, e

possui uma autonomia para percorrer até 160 km, conforme testes realizados pelo fabricante.

A bateria é de 16 kWh e utiliza a tecnologia de Íons de Lítio, se encontra instalada sob o piso base do veículo conforme Figura 3-1. O pacote consiste em 22 módulos de células ligadas em série na tensão nominal de 330 V, que pesam 230 Kg. Existem dois tipos de módulos para permitir a utilização eficiente do espaço limitado. Dois módulos de 4 células estão em posição vertical no centro da embalagem e 10 módulos de 8 células são colocadas horizontalmente. A Figura 3-1 mostra detalhes da bateria do iMIEV.

Figura 3-1 - Bateria do Imiev da Mitsubishi

Fonte: Plug in recharge (2013)

O Leaf da Renault - Nissan tem um pacote de bateria de 24 kWh com autonomia de 160 km. O pacote possui 48 módulos (figura 10), cada um com quatro células (assim, 192 células total). O pacote inteiro pesa cerca de 300 quilos e contém cerca de 9 quilos de lítio, na Figura 3-2, pode-se ver a distribuição das células da bateria na estrutura do veículo.

Figura 3-2 - Bateria do Leaf da Renault-Nissan

Fonte: Plug in recharge (2013)

3.4 ELETROPOSTOS

Existem quatro modos em que os carregadores de bateria de VEs, operam, três deles possuem um sinal de controle piloto, que tem a função de trocar informações com o VE para otimizar o carregamento:

- Modo 1 - doméstico de carga lenta em CA sem sinal de controle piloto até 16 A e o não doméstico baseado na IEC-309-2 monofásicos(3,7 kW) e trifásicos(11 kW);
- Modo 2 - Não doméstico de carga lenta em CA até 32 A com sinal de controle piloto segundo norma SAE 1772 monofásicos (7,4 kW) e trifásicos (22 kW);
- Modo 3 - Não doméstico de carga lenta em CA até 32 A com sinal de controle piloto segundo norma SAE 1772 monofásicos (7,4 kW) e trifásicos (22 kW) e monofásico de 63 A (14,5 kW);
- Modo 4 - Não doméstico de carga rápida em CA de 250 A e em CC de 400 A Plug in recharge (2013)

Segundo Ornelas (2009), a existem eletropostos com dois tipos de taxa de carregamento, e ainda existe uma tecnologia de carregamento por pulsos que vem sendo avaliada atualmente, as taxas de carregamento são:

Tensão constante - Figura 3-3. É aplicada uma tensão constante e a corrente flui para a bateria, a maior corrente ocorre quando a bateria estiver completamente descarregada e ocorrerão valores menores de corrente quando a bateria atinge o final de seu carregamento. Os circuitos para sistemas de tensão constante são relativamente simples, portanto, estes tipos de carregadores tendem a ser custos menores.

Figura 3-3 - Forma de Onda - Carregamento Tensão Constante

Fonte: Plug in recharge (2013)

Combinação tensão e corrente constantes -

Figura 3-4. inicia-se o ciclo de carga com uma corrente alta e constante até que a tensão atinja um valor definido, então passa a realizar o controle de tensão constante. Este é o mais avançado dos tipos básicos de carregadores de baterias, e

devido ao fato de possuir uma temperatura de carregamento reduzida, acaba por aumentar a vida útil e o desempenho da bateria.

Figura 3-4 - Forma de Onda - Carregamento Tensão e Corrente Constantes

Fonte: Plug in recharge (2013)

Ainda segundo Ornelas(2009), existem dois métodos básicos de acoplamento usado para a carga de baterias de veículos elétricos através de eletropostos conectados à rede elétrica.

- Acoplamento condutivo - No qual o proprietário do veículo elétrico conecta o seu veículo na tomada apropriada (ou seja 110 ou 220 V em CA para carga lenta ou em CC para carga rápida) para iniciar o carregamento. Este tipo de acoplamento pode ser usado tanto em VEs que possuem o carregador embarcado (*onboard*) ou para veículos que não dispõem de um carregador embarcado (*offboard*).
- Acoplamento indutivo - Este tipo de acoplamento usa um conector especial que se encaixa em um soquete no carro. Em vez de transferir a energia por uma conexão física direta, a energia é transferida por indução, que é realizada através de um “acoplamento”

magnético entre os enrolamentos de duas bobinas separadas, uma no conector e outro montada no veículo.

Quanto aos conectores que realizam a conexão dos VEs aos eletropostos, ainda não há normatização técnica vigente no Brasil definição de padrões de conectores. A nível mundial não existe uma padronização dos tipos de conectores, as unidades de padronização internacionais (IEC, SAE, etc.) possuem normas que definem diferentes tipos de conectores. Na Figura 3-5, podem ser vistos os padrões que são definidos pelas normas, SAE J1772 (2009), IEC 62196-2(2010) e pelo padrão ChaDeMo, que é um padrão desenvolvido no Japão para eletropostos que utilizam o Modo 4 de carregamento (carga rápida).

Figura 3-5 - Padrões de Conectores Utilizados no Mundo

		China	EUA	Japão	EU (IEC-62196)	
CA	1 Fase	Tipo 2	j1772	j1772	j1772-Tipo 1	
	1 Fase ou 3 Fases				Tipo 2 Modo 1	Tipo 2 Todos Modos
	1 Fase ou 3 Fases				Tipo 3 Modo 1	Tipo 3 Todos Modos
CC 200A 350A 400A		Modo 3	j 1772 «Híbrido»	CHAdeMo	Tipo 2 «Híbrido»	

Fonte: Plug in recharge (2013)

4 METODOLOGIA

4.1 INTRODUÇÃO

Com base na bibliografia levantada, foi desenvolvida a abordagem metodológica do trabalho, com três vertentes convergentes que buscam como resultado final projetar e quantificar os impactos dos VEs no sistema de distribuição das concessionárias participantes do estudo, e na redução das emissões atmosféricas provenientes de fontes móveis nos estados que fazem parte destes sistemas.

As vertentes são:

- Análise das perspectivas futuras e impactos técnicos, sociais, ambientais e econômicos da introdução dos veículos elétricos no Brasil, em especial nas áreas de concessão de distribuição do grupo EDP, através da identificação e análise dos possíveis modelos de negócio de interesse para a EDP nestes cenários.
- Avaliação tecnológica dos eletropostos e baterias existentes, através de testes de carregamento das baterias, de alguns modelos de VE disponíveis para comercialização no Brasil, em situações de carga lenta e rápida.
- Avaliação do impacto da penetração de veículos elétricos na Rede de Distribuição, no planejamento e operação da rede, através da construção de um ambiente computacional de simulação usando como base ferramenta existente de análise de redes elétricas (SINAPGrid).

As vertentes acima citadas serão abordadas de uma maneira prospectiva onde os dados utilizados nas projeções, serão revistos para que os modelos de negócio e de utilização dos VEs, causem o menor impacto nos sistemas de distribuição, e maximizem o retorno financeiro das distribuidoras de energia elétrica, diante a adoção desta tecnologia por seus clientes. O fluxo de trabalho adotado é baseado no PDCA ou ciclo de Demming (SOBREADMINISTRACAO,2013) seguindo a ordem de, levantamento dos dados, realização de projeções e simulações,

proposição de modelos de negócio e utilização dos VEs e quantificação dos impactos do sistema de distribuição conforme ilustra a Figura 4-1, abaixo.

Figura 4-1 - Fluxo do Trabalho

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

4.2 CONSULTA DELPHI

A consulta Delphi representa uma forma de interação com a sociedade, para obter uma opinião qualitativa e quantitativa sobre determinado assunto. A técnica consiste, de modo geral, na aplicação de um questionário interativo, que circula repetidas vezes por um grupo de peritos ou envolvidos com objeto de discussão, que são previamente selecionados. Diferentes tipos de questões devem ser cuidadosamente elaborados, conforme orientam Wright e Giovinazzo (2000).

Neste estudo foi desenvolvido um questionário Delphi com questões de apoio para o “Levantamento do potencial tecnológico de veículos elétricos de transporte individual”, e foi utilizada a metodologia de Wright (2000), segundo a qual

o Delphi é utilizado para a identificação de tendências e eventos futuros, por meio da consulta a um grupo de envolvidos no tema.

Serão ao longo de duas rodadas, aplicadas as premissas que são inerentes ao método Delphi, a saber (MARTINO, 1993):

- O anonimato dos respondentes quando na apresentação dos resultados, pelo preenchimento do questionário em um formulário no site da Internet;
- A representação estatística da distribuição dos resultados: tabulação e tratamento estatístico dos resultados;
- O *feedback* de respostas do grupo para reavaliação nas rodadas subsequentes, sendo os resultados da primeira rodada divulgados para que possam ser considerados pelo grupo no preenchimento da segunda rodada.

Neste trabalho será utilizado o *WebDelphi*, que incorpora todas as premissas de uma pesquisa Delphi tradicional, porém utilizando a Internet como forma de coleta dos dados. O método foi executado pela equipe da Fundação Instituto de Administração(FIA) por meio da ferramenta *QuestionPro*, uma das mais renomadas ferramentas para pesquisas (seu website institucional pode ser visto no endereço www.questionpro.com). O software permite a aplicação de formulário eletrônico das premissas inerentes, com interface adequada, possibilidade de armazenamento das respostas e disponibilização do tempo médio para respostas, entre outras ferramentas úteis para prospecção e análise dos dados.

A qualidade do resultado de uma pesquisa Delphi depende essencialmente dos participantes do estudo e, segundo Linestone & Turoff (1975) e Vichas (1982), um número de 15 a 30 respondentes é considerado um bom número, o suficiente para gerar informações relevantes. Observa-se que o grupo de especialistas não representa um grupo estatisticamente representativo de uma parcela da população. Trata-se de um grupo selecionado pelo conhecimento ou experiência a ser compartilhado, com vistas à obtenção do consenso.

Na pesquisa Delphi “Levantamento do potencial tecnológico de veículos elétricos de transporte individual”, foram convidados cerca de 5300 envolvidos no assunto, para opinar sobre os impactos dos VEs no mercado brasileiro em 2020.

4.3 CENÁRIOS DE PENETRAÇÃO (2010 – 2020)

Para se quantificar e qualificar o nível de penetração da frota de VEs, nas áreas de concessão das distribuidoras, foram elaborados, com base nos dados de crescimento populacional e da pesquisa Delphi, cenários de penetração para os VEs no mercado Brasileiro.

Segundo Godet (1993), o cenário deve incluir a ação dos principais atores e a probabilidade estimada de eventos incertos, articulados de tal forma a descrever a passagem da situação de origem para uma situação em um momento futuro de forma coerente e mais próxima da possível realidade. Devido ao grande número de variáveis presentes no mundo real e à complexidade das suas interações, torna-se mais atraente trabalhar com várias possibilidades de futuros, ou cenários múltiplos, de forma se obter um resultado mais abrangente.

4.4 DADOS DE VEÍCULOS E BATERIAS

Para coletar de informações a respeito do carregamento das e baterias, foram instalados 03 eletropostos de carga de baterias de veículos elétricos do fabricante Efacec no IEE – Instituto de Energia e Ambiente da USP.

Um dos eletropostos é de carga rápida com capacidade para recarregar 80% de uma bateria como a do VE Nissan Leaf(24kWh) em menos de 30 minutos, um de carga lenta público e um de carga lenta residencial que realizam de 100% da mesma bateria em cerca de 08 horas. Os eletropostos de carga lenta tem 3,7 kW de potência e o de carga rápida tem 50 KW de potência. Na Figura 4-2. se pode ver a infraestrutura de carregamento já instalada Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Infraestrutura de Carregamento

Linha de produtos	Fases	Corrente	Potência	Conector ou cabo	Tipo de Conector	Modo de carga
Home Charger	1,00	16A	3,7 KVA	Cabo fixo	J1772	Modo 3
Normal Charger	3,00	16A	3,7 KVA	Soquete	IEC/EM 60309 e Tipo 2	Modo 1 e 2
Quick Charger	CC	>125A	50KW	Cabo fixo	G 105	Modo 4

Figura 4-2 - Eletropostos Instalados no Instituto de Energia e Eletrotécnica da USP

Fonte: Autoria própria

Serão feitas recargas de veículos elétricos nos eletropostos para definir padrões de consumo desta carga móvel, e permitirá avaliar o impacto destas nos sistemas de distribuição da EDP Bandeirante e da EDP ESCELSA. Os carros elétricos que estão previstos para fazer carregamento nos eletropostos do IEE são o Imiev da Mitsubishi e o Nissan-Leaf da Renault-Nissan que utilizam baterias de íons de lítio Figura 4-3.

Figura 4-3 - Veículos que serão testados

Imiev – Mitsubishi

Leaf - Nissan

Fonte: Mitsubishi cars, (2012) e Nissan zero emission (2012)

Em relação às baterias que correspondem a VEs e VEHPs, para os propósitos de simulação, é importante conhecer a capacidade e o estado de carga de cada uma delas.

O carregamento é função dos valores de tensão e corrente e dependem do tipo de circuito de carga que está associado a cada tipo de carregador. Para efeitos de simulação e análise foram utilizados os modos de carregamento compatíveis com a infraestrutura instalada no IEE USP:

- Carregamento Normal (Eletropostos de Carga Lenta, público ou residencial), realizado em baixa tensão, monofásico, 220V e 16A;
- Carregamento Rápido (Eletroposto de Carga Rápida), realizado em baixa tensão, trifásico, 400V e 95A.

A recarga dos VEs poderá ser efetivada através de carregadores rápidos, carregadores públicos lentos e carregadores domiciliares.

4.5 DADOS DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Para avaliação do impacto do carregamento de veículos elétricos (VEs) sobre os elementos de rede específicos e sobre o sistema de distribuição da EDP

Bandeirante e da EDP ESCELSA, ambos os sistemas de distribuição, foram modelados, com as seguintes informações:

- Suprimentos em subestações Alta Tensão
- Linhas de subtransmissão Alta Tensão (138 kV, 88 kV),
- Transformadores das subestações Alta Tensão e Média Tensão (138/13,8 kV; 88/13,8 kV),
- Alimentadores de distribuição Média Tensão (13,8 kV),
- Transformadores de distribuição Média Tensão e Baixa Tensão (13,8/0,220 kV),
- Rede secundária Baixa Tensão (240 V, 120 V, 220 V, 127, V),
- Consumidores Média Tensão e consumidores Baixa Tensão, modelados através de curvas de carga típicas, Kagan, et. al.(2005) ou próprias.

4.6 PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE

A plataforma de simulação escolhida denomina-se SinapGrid a qual se caracteriza por disponibilizar uma série de funções para análise de rede, permitindo, também, o desenvolvimento e inclusão de módulos novos de forma transparente.

Dentre as principais características da plataforma de simulação para apoio à avaliação do impacto na rede ante a presença de VEs, têm-se:

- Representação integrada de todos os níveis de tensão da rede de distribuição (alta, média e baixa);
- Editor de rede amigável que permite a representação de todos os componentes da rede (barras, linhas, cargas, patamares ao longo do dia, banco de capacitores, reguladores de tensão, transformadores de 2 ou 3 enrolamentos, geradores fotovoltaicos, veículos elétricos, eletropostos, etc.) por meio de diagramas esquemáticos ou por meio de diagramas georreferenciados;
- Módulos de cálculo de fluxo de potência, para redes balanceadas ou desbalanceadas, capazes de resolver redes em malha por diversos métodos;

- Algoritmos Determinísticos e Probabilísticos de alocação de VEs;
- Algoritmos para avaliar a conexão descontrolada, o uso da tarifa dual e o controle inteligente;
- Algoritmos para avaliação do carregamento, perfil de tensão, desequilíbrio de tensão e perdas, seguindo as recomendações do PRODIST, ANEEL(2011);
- Apresentação gráfica de relatórios que comparam os níveis de penetração de VEs e seu impacto na rede, com ênfase nos parâmetros de carregamento, perfil de tensão e perdas.

4.7 ALGORITMOS DE ALOCAÇÃO DE VES

A alocação da carga associada aos VE na rede é realizada através de algoritmos determinísticos e probabilísticos. Na abordagem determinística, busca-se, conforme a taxa de penetração, alocar os VEs a partir do final do alimentador, no intuito de forçar um maior nível de perdas e verificar o impacto destas cargas no perfil de tensão da rede, para este caso, considerado o mais crítico conforme Figura 4-4.

Figura 4-4 - Fluxograma da abordagem determinística de alocação de VEs

Fonte: Pelegriini et al. (2014)

Na abordagem probabilística, os VE são distribuídos de forma aleatória na rede, seguindo uma probabilidade associada. As atribuições do tipo de bateria a cada VE, do estado de carga das baterias e a hora de carregamento, utilizam funções de distribuição de probabilidade obtidas em campo ou curvas de funções de distribuição de probabilidade teóricas.

Os algoritmos utilizados na avaliação dos impactos e limites das redes de distribuição definem processos que consideram o nível de penetração de VE, obtidos por pesquisa de mercado e elaboração de cenários de longo prazo.

O fluxograma de alocação probabilística utilizado é mostrado na Figura 4-5.

Figura 4-5. Fluxograma de Alocação Probabilística

Fonte: Pelegriini et al. (2014)

4.8 TIPOS DE CARREGAMENTO NA REDE

Em relação à forma de carregamento a ser efetuado pelos VEs analisam-se as possibilidades de acontecer o carregamento descontrolado, Lopes et. al.(2011), sem controle nenhum pelo lado da concessionária, ocasionando a predominância de conexões no horário da ponta, o carregamento considerando uma tarifa dual, ANEEL (2010), onde aparecem os postos tarifários ponta e fora da ponta e uma abordagem que considera o carregamento inteligente, Lopes et. al.(2011), visando um aplainamento na curva de carga e melhor uso dos ativos da rede.

O carregamento considerando uma tarifa dual pode permitir o carregamento de VEs nos postos tarifários Hora da Ponta e Fora Hora da Ponta. ANEEL (2010), Uma Estrutura Tarifaria, que disponibiliza para o consumidor uma Tarifa Dual pode definir uma mudança nos hábitos de uso. Devido a um maior custo da energia para o consumo realizado no horário de ponta.

Assim, como a existência de uma tarifa única associadas ao hábitos de uso realização da carga no horário de chegada a casa acaba por trazer uma facilidade para os consumidores realizarem a conexão de VEs para sua recarga na hora da ponta. Os incentivos para a conexão de VE Fora da Hora de Ponta podem estar associados a preços diferenciados do custo de energia nos postos tarifários fora da hora da ponta e na hora do pico.

Um critério a ser considerado e avaliado, na mudança de hábitos de conexão, refere-se a possibilidade de que consumidores com consumo elevado (kWh) decidam continuar a recarga na hora da ponta e consumidores com um consumo médio menor migrem para a recarga em horários fora da hora de ponta.

A análise de identificação e classificação de consumidores com possibilidades de pertencer a uma ou outra faixa de consumo, para participação numa tarifa dual, é realizada com consumidores das respectivas redes BT.

Adicionalmente, para ilustrar o descrito acima, pode-se ver na Figura 4-6 a curva de carga agregada de um alimentador, que define claramente a presença de um vale significativo mostrando um decréscimo no consumo de energia no horário

das 00:00 as 06:00 da manhã, os VEs seriam uma oportunidade para a distribuidora administrar estas quedas no consumo em horários fora da ponta.

Figura 4-6 - Curva de Carga de Alimentadores – Horário de Ponta e Fora de Ponta

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Neste sentido, devem-se estimar as porcentagens de penetração de veículos elétricos nas horas vale da curva de carga.

O carregamento inteligente, também, pode se beneficiar da aplicação de uma tarifa dual ou tarifa horaria aplicada na área de concessão.

4.9 AVALIAÇÃO DO IMPACTO NA REDE

Serão executados fluxos de potência para os 24 patamares da curva de carga diária, para avaliar o impacto na rede de distribuição. Assim, serão determinados os seguintes impactos nos sistemas de distribuição estudados: carregamento, perfil de tensão, desequilíbrio de tensão e perdas.

O impacto nas redes de distribuição é determinado através do diagnóstico dos elementos de rede e o acompanhamento sistemático do carregamento nos alimentadores, transformadores de distribuição e redes secundárias, além de verificar os valores do perfil de tensão, desequilíbrio de tensão e perdas. É possível, também, a obtenção de curvas de carga agregadas em pontos chave da rede elétrica e a realização de uma análise do impacto para um horizonte de previsão desejado.

Na Figura 4-7. apresenta-se um fluxograma com as etapas envolvidas na avaliação do impacto da presença de veículos elétricos, na rede de distribuição, para um cenário previsto.

Figura 4-7 - Fluxograma – Etapas à serem realizadas para a avaliação do impacto dos VEs em sistemas de distribuição

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

4.10 CÁLCULO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA(GEE)

Através das projeções tendenciais de demanda por veículos movidos à combustão e da evolução da frota nacional, será realizado o cálculo das emissões de GEE, provenientes do consumo de etanol e gasolina no ano de 2020, e posteriormente comparado à substituição do consumo destes combustíveis pelo consumo de eletricidade.

Estes cálculos serão realizados utilizando a planilha disponibilizada pela FGV, para a realização de Inventários de emissões de GEE, dentro do programa GHG Protocol.

Para a realização da conversão do consumo de combustíveis e eletricidade em Toneladas de CO₂ equivalente, serão utilizados os fatores de emissão, obtidos do Balanço Energético Nacional (2012).

4.11 CÁLCULO DO IMPACTO NA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

Através das projeções tendenciais de demanda por veículos a combustão e evolução da frota nacional, e considerando-se o deslocamento médio mensal de 50 quilômetros (MMA, 2011), será calculada qual seria a demanda desta nova tecnologia por energia elétrica e qual seriam os impactos na matriz energética nacional.

5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

5.1 INTRODUÇÃO

Para a elaboração deste trabalho, foram realizadas pesquisas bibliográficas, para se verificar a abordagem que tem sido dada ao tema em diversos países e em diferentes cenários, com o objetivo de se obter subsídios para desenvolver a metodologia que foi adotada em seu desenvolvimento.

Neste capítulo serão apresentados os resultados que foram obtidos através da adoção dos procedimentos metodológicos desenvolvidos, que tiveram como objetivo, quantificar o crescimento estimado da frota de VEs até 2020, obter curvas de carregamento reais de alguns VEs, para que por fim seja realizada uma simulação piloto, em uma sub estação de distribuição na EDP ESCELSA utilizando a o cenário com a maior participação de VEs na frota.

5.2 PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DA FROTA DE VES

Com base em dados do DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito, 2011), a frota de veículos nos municípios que fazem parte da área de concessão da EDP Bandeirante, era de 1.893.136 de veículos (2,68% da frota nacional), dos quais 1.248.414 são automóveis (3,13% da frota nacional). Já nos municípios que fazem parte da área de concessão da EDP ESCELSA a frota de veículos é de 1.296.411 (1,84% da frota nacional), dos quais 671.821 (1,69% da frota nacional) são automóveis, considerando toda a área de concessão da EDP Bandeirante e EDP ESCELSA há uma frota de 3.189.547 (4,52% da frota nacional) sendo 1.920.235 (4,82% da frota nacional) automóveis.

Na Tabela 5-1, pode-se verificar que nas 12 cidades com as maiores frotas automobilísticas, está concentrada 70% da frota de toda a área de concessão, representando uma participação de 3,44% na frota nacional de automóveis. Na EDP Bandeirante, Guarulhos possui a frota mais representativa com uma participação de 17% no total da frota, e na EDP ESCELSA, Vitória é a mais representativa com uma participação de 6% no total da frota.

Tabela 5-1. Participação da frota de automóveis em branco EDP Bandeirante e em azul EDP ESCELSA.

Cidades	Frota Automóvel (Dez 2011)	Participação na frota da área de concessão	Participação frota área de concessão acumulada	Participação na frota nacional	Participação frota nacional acumulada
Guarulhos	325.866,00	16,97%	16,97%	0,82%	0,82%
São José dos Campos	238.407,00	12,42%	29,39%	0,60%	1,42%
Mogi das Cruzes	119.704,00	6,23%	35,62%	0,30%	1,72%
Vitória	115.536,00	6,02%	41,64%	0,29%	2,01%
Vila Velha	105.109,00	5,47%	47,11%	0,26%	2,27%
Taubaté	102.908,00	5,36%	52,47%	0,26%	2,53%
Serra	79.713,00	4,15%	56,62%	0,20%	2,73%
Jacareí	68.210,00	3,55%	60,17%	0,17%	2,90%
Suzano	62.845,00	3,27%	63,45%	0,16%	3,06%
Cariacica	61.705,00	3,21%	66,66%	0,15%	3,21%
Itaquaquecetuba	47.759,00	2,49%	69,15%	0,12%	3,33%
Cachoeiro de Itapemirim	41.939,00	2,18%	71,33%	0,11%	3,44%

Utilizando as informações da frota de automóveis nos municípios das áreas de concessão, foram elaboradas duas projeções tendenciais, para verificar qual seria a evolução da demanda por veículos novos e consequente evolução da frota. As projeções são consideradas tendenciais, pois, subjacente a todas elas está o pressuposto de que os mesmos mecanismos que determinaram o comportamento histórico da demanda e da evolução da frota prevalecerão ao longo do horizonte de projeção (2010-2020).

Embora sejam tendenciais, as duas projeções apresentam dinâmicas distintas Tabela 5-2:

- i. O Modelo 1 é um modelo linear no tempo em que a variação absoluta da demanda por novos veículos por unidade de tempo é uma constante a ser estimada;
- ii. O Modelo 2 é um modelo exponencial no tempo em que a variação percentual da demanda por novos veículos por unidade de tempo é uma constante a ser estimada;

Tabela 5-2. Modelos para projeções tendenciais e crescimento da frota

Descrição	Modelo	Dinâmica
Linear em t (Modelo 1)	$L_t = a + bt$	$dL_t = bdt$
Exponencial em t (Modelo 2)	$L_t = ae^{bt}$	$\frac{dL}{L} = bdt$

L = Licenciamento de veículos novos; a e b são parâmetros a serem estimados para cada município;

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

A análise foi realizada com as séries históricas da evolução da frota para cada município entre 2001 e 2009 disponibilizadas pelo DENATRAN e, para cada ano foi estimado a quantidade de licenciamento de veículos novos através da seguinte identidade:

$$F_t = F_{t-1} + L_t - S_t$$

Onde, F_t é o tamanho da frota no ano t , F_{t-1} é o tamanho da frota no ano anterior, L_t é o número de veículos licenciados no ano t e S_t é o número de veículos sucateados (e retirados de circulação) neste mesmo ano.

A equação foi utilizada para estimar o número de veículos novos licenciados para cada ano e para cada município e irão conter oito observações (2002-2009), as quais serão utilizadas na determinação dos parâmetros que determinam cada um dos modelos. Os resultados das projeções de crescimento da frota e do número de licenciamentos está representado nas Figura 5-1, Figura 5-2, Figura 5-3, Figura 5-4.

Figura 5-1. Projeção de crescimento da frota de veículos - EDP Bandeirante(x1000)

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-2 - Projeção número de licenciamentos – EDP Bandeirante(x1000)

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-3. Projeção de crescimento da frota de veículos - EDP ESCELSA(x1000)

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-4. Projeção número de licenciamentos – EDP ESCELSA(x1000)

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

A partir das curvas projetadas pode-se ter uma estimativa da frota de automóveis em cada cidade da área de concessão até o ano de 2020. Essa informação foi base para os cálculos que estimam a quantidade de veículos elétricos nas áreas de concessão.

5.3 CENÁRIOS DE PENETRAÇÃO DE VES

Com o objetivo de prospectar e estudar de que forma ocorreria a introdução dos VEs na frota e quais seriam os hábitos de utilização dos VEPs nas áreas de concessão da EDP Bandeirante e EDP ESCELSA no ano de 2020, foram desenvolvidos quatro cenários de utilização a partir da consulta *Delphi* e da análise morfológica.

A construção dos cenários foi um processo que incorporou a utilização de diversas metodologias, com base no método de elaboração de cenários de Godet (1993), que é estruturada em três grandes fases. Inicialmente, tem-se a construção da base analítica e histórica do sistema atual, incluindo a identificação das variáveis e suas relações, assim como o posicionamento das partes interessadas face às variáveis. Precedendo a fase da elaboração dos cenários possíveis, estados intermediários e finais vieram às atividades de exploração das possíveis evoluções. Através de uma análise morfológica, decompõem o problema estudado em dimensões essenciais, definindo e analisando aquelas mais prováveis (RIBEIRO, 1997).

A análise morfológica encontrou as combinações que formam as bases para o desenvolvimento dos cenários, identificando variáveis e as configurações básicas de maior interesse para o esforço de previsão durante a subsequente etapa de construção dos cenários. Inovações surgem da recombinação de subsistemas viáveis (já existentes ou ainda conceituais) em novas opções a serem exploradas.

Com o objetivo de identificar a viabilidade das combinações, foram consultados outros envolvidos no tema, de forma a enriquecer a discussão com conhecimentos específicos e outras visões. Esta Pesquisa foi realizada através da consulta *Delphi*.

5.3.1 Consulta Delphi

Entre os meses de abril e julho de 2012, uma consulta *Delphi* foi conduzida, de acordo com as características apresentadas na metodologia. O objetivo desta pesquisa foi o de subsidiar a construção dos cenários para os veículos elétricos nas

regiões das concessionárias da EDP, no ano 2020, com dados quantitativos e qualitativos.

As questões foram formuladas por meio de discussões e revisões realizadas em reuniões de trabalho. Foram convidados cerca de 5300 envolvidos no assunto, para responder a pesquisa que circulou em duas rodadas, com 460 respondentes concluindo o questionário, cujo as áreas de atuação e o envolvimento destes com o assunto são apresentados na Figura 5-5 e Figura 5-6.

Figura 5-5. Área de atuação dos respondentes

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-6. Envolvimento dos respondentes com o assunto VEs

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Resultados da 1ª rodada:

Alguns números se sobressaem desta primeira rodada. É relevante enfatizar que 58% das pessoas acreditam que até o ano de 2020, a eficiência das baterias dos veículos evoluirá consideravelmente devido ao avanço da tecnologia. Adicionalmente, pode-se citar que na questão sobre as barreiras, a tecnologia não foi vista como um empecilho à viabilidade do VE. Já a falta de apoio do governo foi considerada uma grande barreira, pelos respondentes, este apoio é fator essencial para uma queda nos custos do veículo elétrico e para o desenvolvimento de uma infraestrutura que auxilie o uso dos mesmos.

Os VEs, de acordo com os consultados, terão autonomia, em 2020, de aproximadamente 300 km, sendo recarregados diariamente tanto em veículos particulares quanto nas frotas. Quanto ao horário das recargas os proprietários de VEs particulares demonstraram que a maior parte dos carregamentos seria realizado em casa e no período noturno e fora do horário de pico do sistema, como pode-se ver na Figura 5-7.

Figura 5-7. Horário de recargas VEs - Delphi

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Algumas tendências específicas do setor foram avaliadas de acordo com a sua probabilidade de realização, como a redução do tempo de carregamento da bateria para até 10 minutos. A redução do preço da bateria em 50% pode ocorrer com 30-69% de probabilidade e a probabilidade de que haja reciclagem de mais de 90% dos componentes das baterias foi considerada alta. Por fim, a qualidade das respostas é assegurada por conta da elevada escolaridade e envolvimento profissional ou interesse dos respondentes com o tema “veículo elétrico”.

Resultados da 2ª rodada:

O objetivo de realizar a segunda rodada da pesquisa Delphi, foi de se esclarecer algumas pendências que não obtiveram consenso na 1ª rodada, e também obter maior confiabilidade nos valores encontrados.

Segundo os consultados, a quilometragem diária média percorrida pelos VEs em 2020 será de aproximadamente 20 km, sendo que 50% dos motoristas fariam percursos diários de no máximo 50km.

O carregamento rápido, foi confirmado como a opção de recarga rápida mais provável para 2020, mesmo vindo a apresentar um custo maior que a recarga domiciliar os respondentes acreditam que os motoristas de VEs estarão dispostos a pagar um valor mais elevado para ter a sua bateria carregada em menor espaço de tempo. Os respondentes, acreditam que o tempo de recarga é um empecilho técnico à adoção dos VEs, e que este seria um fator de diferenciação nos veículos comercializados até 2020.

Foi destacada a necessidade de incentivos governamentais em primeiro lugar, seguida por incentivos do setor elétrico e do setor automobilístico, para a adoção inicial dos VEs pelos consumidores.

5.3.2 Cenários desenvolvidos

Utilizando os resultados da consulta Delphi e a análise morfológica, foram desenvolvidos quatro cenários de utilização dos VEs nas áreas de concessão da EDP Bandeirante e EDP ESCELSA em 2020. O objetivo não é o de prever um cenário específico, tendo em vista que existe grande probabilidade de que a

realidade seja uma mescla de mais de um dos cenários descritos, mais sim de identificar possibilidades da adoção desta tecnologia.

Cenário Solução corporativa

Devido ao fato de o cenário “Solução corporativa”, ser resultante de forças atuais, ou seja, caso não ocorra uma mudança tecnológica transformadora na cadeia do VE, a realidade em 2020 estará mais próxima deste cenário. na Figura 5-8 encontramos exemplos de VEs que já vem sendo utilizados pela administração pública e por empresas.

A cidade de Nova Iorque em 2012, ilustra o que seria uma aplicação prática deste cenário. Lá cerca de 430 veículos de propriedade da administração municipal, são VEHPs. Esta substituição da frota faz parte do programa *Clean Fleet Transition Plan* (em tradução livre, “Plano de Transição Frota Limpa”), que ainda foi responsável pela instalação de 113 dispositivos de recarga em locais públicos. (PlaNYC, 2011).

Figura 5-8. Exemplos de VEs enquadrados no cenário solução corporativa

Fonte: PlaNYC (2011)

Empresas e governos poderão arcar com os custos iniciais dos VEs tornando a participação desses veículos expressiva, principalmente na frota elétrica de carros públicos (carros de polícia, carros oficiais, etc.), táxis, veículos de empresas (frotas, inclusive utilitários).

A utilização da nova tecnologia representa economia de custos frente ao consumo de combustíveis fósseis no longo prazo, sendo o custo total de

propriedade elevado, mas atenuado por benefícios pontuais, como a criação de vagas exclusivas para VEs em pontos de táxis, liberação parcial de restrições à circulação, privilégios em estacionamento entre outras possibilidades.

Por serem carros utilizados principalmente por instituições, o horário de recarga apresentará dispersão, ocorrendo recargas de menor relevância durante o dia, porém com a maior concentração de recargas das 19h às 24h, fora do horário de funcionamento de grande parte dos estabelecimentos.

Considerando este cenário, a participação nas vendas de veículos, em 2020, será de aproximadamente 5% entre os carros de empresas, 5% entre os carros oficiais, 5% entre táxis. No total, 2,1% dos carros novos vendidos nas regiões de concessão da EDP serão elétricos em 2020. O tempo médio de recarga lenta será de 210 minutos e o de recarga rápida de 30 minutos e, uma vez completamente carregado, o carro conseguirá percorrer até 200 km.

Cenário nicho verde chique

Outro cenário exploratório desenvolvido recebeu o nome de “Nicho verde chique”, no qual os custos de compra e manutenção um veículo elétrico continuam elevados, mas a autonomia do veículo cresce e as possibilidades de recarga em postos nas ruas se multiplicam, tornando-o viável mesmo para viagens maiores. Na Figura 5-9, vemos um Tesla-S, que possui um conjunto de baterias com autonomia para 260km, e atinge a velocidade máxima de 180km/h, mas custa em torno de US\$ 60.000,00.

Figura 5-9. Exemplo de VE enquadrado no cenário nicho verde chique

Fonte: PlaNYC (2011)

O “nicho verde chique” será composto por pessoas que possuem um maior poder aquisitivo com a possibilidade de pagar por um valor bem superior ao custo de um veículo a combustão interna. Estas pessoas perseguem uma conduta que visa causar menos impactos negativos ao meio ambiente, e percebem muito valor nas características de produtos com valor socioambiental agregado. Além de que em Nova Iorque por exemplo, existem muitos consumidores que pagariam mais por um veículo para ter acesso a áreas de circulação controlada e vagas de estacionamento preferenciais (PlaNYC, 2011).

Devido ao custo total de propriedade de VEs, ser cerca de 100% maior que o custo de um veículo a combustão, apenas 3% da venda de veículos será elétrica em 2020, nas regiões de concessão da EDP.

Em contra partida, existe grande incremento no que tange à facilidade de uso, pois os proprietários de VEs, poderão dispor de alguns benefícios como circulação em áreas restritas e privilégios em estacionamentos, como acontece em Nova Iorque.

Quanto às recargas das baterias, estas seriam feitas em grande parte nos domicílios dos proprietários, e em alguns casos nos estacionamentos. O horário de recarga neste cenário ocorreria entre as 19h e às 23h, com pico às 22h.

O tempo médio de recarga se desenvolve em relação ao cenário de Solução Corporativa (o que também gera maior conveniência de uso), atingindo 120 min para a lenta e de 10 min para a rápida, neste último caso, possibilitando ao motorista conduzir por aproximadamente 300 km até a próxima recarga.

Cenário meu carrinho elétrico

O cenário “meu carrinho elétrico”, considera que os VEs com características de carro popular individual, se tornam comuns entre os indivíduos que já possuem um outro carro maior. Conhecidos como *ultra-small vehicle* os veículos considerados neste cenário, são pequenos, de baixo custo possuem de 1 a 2 lugares, tornando eles convenientes para o uso no cotidiano urbano.

Um exemplo real desse tipo de veículo é o Renault Twizy, mostrado na Figura 5-10, cujo motor elétrico é alimentado por uma bateria de lítio e apresenta autonomia de 100 km. A versão de entrada atinge velocidade máxima de 45 km/h, enquanto que o modelo mais potente chega a desenvolver velocidade máxima de 80 km/h com um custo de aproximadamente US\$ 9.000,00 (SILVA & WRIGHT, 2011).

Figura 5-10. Exemplo de VE enquadrado no cenário meu carrinho elétrico

Fonte: PlaNYC (2011)

O custo total de propriedade do VE neste cenário seria cerca de 30% abaixo de um veículo popular movido a combustão. Esta redução no preço é prevista, pois o menor tamanho do automóvel, demanda um motor de menor potência e consequentemente baterias menores e mais baratas para o seu abastecimento. Nesta redução de preço, foi considerado ainda um incentivo governamental de 15% em redução de impostos, originado pela pressão popular para a redução dos problemas de tráfego intenso nas grandes cidades.

Em relação a conveniência de uso, em 2020, a autonomia destes VEs seria de 120km a 200km, sendo inferior a VEs de maiores dimensões porém atendendo as necessidades de locomoção dentro das cidades.

O horário de recarga neste cenário está distribuído entre às 19h e às 23h com pico às 22h. E a recarga se completará com tempo médio 120 min no carregador lento e 10 min no carregador rápido, sendo realizada principalmente em domicílios e em postos de recarga.

A penetração neste cenário atinge 5% do total dos carros novos vendidos, sendo que grande parte dos compradores seriam particulares, tendo em vista que empresas e taxistas não se sentiriam atraídos em modificar a sua frota, por conta da baixa conveniência de uso.

Cenário cidade elétrica

O cenário cidade elétrica, considera o sucesso total da tecnologia dos VEs, ocasionando mudanças significativas na sociedade, como sistemas de *car-sharing*, onde pode se alugar o veículo, por algumas horas para percorrer pequenos trechos, Figura 5-11. Diversos tipos de incentivos governamentais, associados ao sucesso no desenvolvimento do setor de VEs, fazem o preço de sua utilização acessível, o que somado a conveniência de uso torna o veículo elétrico extremamente atraente.

Figura 5-11. Exemplo de VE enquadrado no cenário cidade elétrica

Fonte: PlaNYC (2011)

Com custo de aquisição relativamente baixo e grande conveniência de uso, a popularidade dos veículos elétricos seria a maior dentre os cenários: alcançando 5% dos automóveis novos vendidos. As empresas e os governos municipal e estadual, renovariam as suas frotas e a venda total de VEs atingiria 10% do total de veículos comercializados em 2020 e o preço de um VE será aproximadamente o de um modelo similar a combustão interna.

A recarga da bateria neste cenário, seria feita de modo pulverizado, variando entre as residências, estacionamentos e pontos públicos de recarga (que estariam espalhados pela cidade). O horário de recarga de grande parte da frota estaria concentrado entre 19h e 23h com pico as 22h, com algumas recargas ao longo do horário comercial, entre as 08hs e 19hs. O tempo médio de uma recarga lenta seria de 90 min e de uma recarga rápida de 10min, e a autonomia destes VEs atingiria 400km com uma carga na bateria.

Na Tabela 5-3, pode ser verificada a quantidade de VEs que resultou de cada um dos cenários elaborados, observando-se a maior quantidade de VEs no cenário “Cidade elétrica” onde temos condições mais propícias para a adoção desta tecnologia.

Tabela 5-3. Tabela resumo com a quantidade de VEs resultante de cada um dos cenários

	EDP Bandeirante			EDP ESCELSA		TOTAL	
	Modelo utilizado	Part. VEs na frota de automóveis	Número absoluto de VEs	Part. VEs na frota de automóveis	Número absoluto de VEs	Part. VEs na frota de automóveis	Número absoluto de VEs
Solução corporativa	Modelo 1 Tendencial	0,48%	10.531	0,53%	7.613	0,50%	18.144
	Modelo 2 Estresse	1,32%	37.469	1,71%	42.302	1,50%	79.771
Nicho verde chique	Modelo 1 Tendencial	0,69%	15.044	0,76%	10.876	0,71%	25.920
	Modelo 2 Estresse	0,90%	25.547	1,17%	28.843	1,02%	54.389
Meu carrinho Elétrico	Modelo 1 Tendencial	1,14%	25.074	1,26%	18.126	1,19%	43.200
	Modelo 2 Estresse	1,50%	42.578	1,95%	48.071	1,71%	90.649
Cidade elétrica	Modelo 1 Tendencial	1,14%	25.074	1,26%	18.126	1,19%	43.200
	Modelo 2 Estresse	1,50%	42.578	1,95%	48.071	1,71%	90.649

5.4 MEDIÇÕES REALIZADAS NOS ELETROPOSTOS

Foram coletadas medições na infraestrutura de carregamento instalada no IEE, em diferentes dias e horários. As curvas de carregamento das cargas com maior duração, foram escolhidas para representar o comportamento das recargas realizadas.

A Figura 5-12 a seguir mostra um gráfico do comportamento da corrente no carregador de carga rápida.

Figura 5-12. Comportamento da corrente no Quick Charger - 20/03/2013

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Verifica-se que o carregador *Quick Charger*, fornece uma corrente que cresce gradualmente até atingir os 65 A, e depois o aparelho reduz gradualmente a corrente, até o fim da recarga. Esta redução da corrente, é realizada para que não ocorram danos no conjunto de bateria do VE que está recebendo a energia.

A Figura 5-13, representa o fator de potência do *Quick Charger*.

Figura 5-13. Fator de potência no Quick Charger - 20/03/2013

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

O fator de potência do Quick Charger, a variação do fator de potência de 0 à 1, mostra que o eletroposto, pode ser visto pelo sistema como uma carga ativa pura, ou reativa pura.

A Tabela 5-4, apresenta as Harmônicas de corrente, que são geradas pelo *Quick Charger*, durante a recarga. Foi escolhida a carga das 10:30, pois foi a que apresentou a presença mais elevada de harmônicos.

Tabela 5-4. Harmônicos as 10:35 no Quick Charger - 20/03/2013

Fase	1	2	3
Corrente (A)	34,875	37,199	35,23
Harm I - 2 (A)	0,513	0,595	0,494
Harm I - 3 (A)	4,76	4,093	3,797
Harm I - 4(A)	0,556	0,522	0,552
Harm I - 5(A)	10,921	11,36	10,624
Harm I - 7 (A)	7,217	6,749	6,918
Harm I - 9 (A)	0,897	0,738	1,048
Harm I - 11 (A)	10,458	10,188	10,379
Harm I - 13 (A)	3,243	3,444	3,739
Harm I - 15 (A)	0,249	0,261	0,124

Pode-se notar que as correntes harmônicas se comportam maneira diferente nas 3 fases, sendo que as mais presentes, foram as de 3^a, 5^a, 7^a e 11^a ordem.

O aparecimento de correntes harmônicas de 5^a e 7^a ordem, mostram que existe desbalanço entre fases e o aparecimento de harmônicas de 11^a e 13^a ordem mostram que temos um retificador de 12 pulsos no carregado. A maior amplitude atingida é de 11,36A na fase 2, durante a passagem de uma corrente de 37,20 A.

A Figura 5-14. a seguir mostra um gráfico do comportamento da corrente no carregador *Home Charger*, a bateria tinha 30% de carga no momento que se iniciou o carregamento.

Figura 5-14. Comportamento da corrente no Home Charger - 09/10/2013

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Analisando o gráfico que apresenta a recarga realizada no dia 09/10, é verificado que a corrente de carga fica praticamente constante na ordem de 14A, apresentando um decaimento na última hora de carga. Observa-se uma queda na corrente aproximadamente no meio do processo de recarga, esta queda foi ocasionada propositalmente pelo eletroposto para evitar o sobreaquecimento do conjunto de baterias.

A Figura 5-15 e a Figura 5-16 a seguir, mostram a distribuição de harmônicos de corrente no tempo no mesmo carregamento.

Figura 5-15. Correntes Harmônicas de ordem 1, 2, 3, 4 e 5 no Home Charger – 09/10/2013

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-16. Correntes Harmônicas de ordem 7, 9, 11, 13 e 15 no Home Charger – 09/10/2013

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

A presença da 3ª e 5ª harmônicas, aparecem de forma mais intensa, sendo que a 3ª harmônica fica quase constante com 5,7 % atingindo 23% na fase final do carregamento.

A Figura 5-17 mostra o índice de distorções harmônicas de corrente no tempo, no mesmo carregamento, ou seja a bateria com 30 % de sua carga.

Figura 5-17. Índice de distorções Harmônicas no Home Charger – 09/10/2013

5.5 SIMULAÇÃO DE IMPACTO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Para realizar a simulação dos impactos causados pelos VEs no sistema de distribuição da EDP, foi selecionada a Sub Estação (SE) Vila Velha (VVE) na área de concessão da EDP ESCELSA. O cenário de penetração de veículos elétricos escolhido, foi o cenário Cidade Elétrica (CEL), que apresentou a maior probabilidade de participação de VEs na frota de automóveis em 2020, as simulações foram realizadas para o horizonte 2013 a 2020, e até o estresse técnico da rede. Na Tabela 5-5, são apresentados quais os cenários que serão simulados no SINAP-Grid.

Tabela 5-5. Cenários simulados

Alternativa	Horizonte	Controle
CEL 22	2013-2020	Sem
CEL 23	Estresse	
CEL 24	2013-2020	Tarifa dual
CEL 25	Estresse	
CEL 26	2013-2020	Ótimo
CEL 27	Estresse	

5.5.1 Quantificação e alocação dos VEs

Os VEs, foram sendo acrescentados anualmente em cada um dos municípios da área de concessão da EDP ESCELSA os VEs adotados para a simulação encontram-se na Tabela 5-6 sendo adotadas as seguintes condições de operação:

- Distância média diária – 10km;
- Consumo diário – 1,24 kWh;
- Intervalo máximo entre cargas – 11 dias.

Tabela 5-6. Características e participação dos VEs utilizados na simulação

Tipo de Veículo	Participação	Capacidade (kWh)	Consumo (km/kWh)	Autonomia elétrica (km)
Leaf - Nissan	20%	24,00	5,00	120,00
iMiev - Mitsubishi	20%	16,00	8,00	128,00
Twizy - Renault	40%	6,10	16,00	97,60
Kangoo Z.E. - Renault	20%	22,00	7,00	154,00
MÉDIA		14,84	10,40	119,44

5.5.2 Modelagem e alocação dos eletropostos

Foram modelados na ferramenta SINAP Grid, 03 tipos de eletropostos ilustrados na, Figura 5-18, Figura 5-19 e Figura 5-20, sendo um para carregamento lento com um transformador dedicado e 06 pontos para conexão dos VEs, um de carga rápida com 03 transformadores dedicados e 03 pontos de conexão, e finalmente um eletroposto misto com 4 transformadores dedicados 3 pontos de conexão para carregamento rápido e 6 pontos de conexão para carregamento lento.

Figura 5-18. Eletroposto de carregamento lento utilizado na simulação

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-19. Eletroposto de carregamento rápido utilizado na simulação

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-20. Eletroposto misto (saídas para carregamento lento e rápido) utilizados na simulação

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

A alocação dos eletropostos, foi realizada através da ferramenta de clusterização, a qual cria clusters contendo os sub conjuntos de cargas da sub estação, que são agrupadas, indicando, com base na quantidade e tipo de clientes, qual o posicionamento mais adequado para os eletropostos.

As cargas residenciais e comerciais constantes na SE VVE, foram agrupadas em 6 clusters, que receberam 6 eletropostos cada um, sendo eles 3 de carga lenta, 2 de carga rápida e 1 misto, conforme mostra a Figura 5-21.

Figura 5-21. Clusters formados e eletropostos

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Os clusters foram formados, respeitando a distância máxima de 1,9 km entre eles e de forma a atender o maior número de clientes residenciais e comerciais, que além de serem predominantes na região da SE VVE, possuem maiores possibilidades de possuírem um VE no CEL.

5.5.3 Parâmetros utilizados na simulação

Quanto a realização das recargas, foram adotados os seguintes parâmetros para a realização dos testes:

- Fator de coincidência: o fator de coincidência adotado foi de 70%, sendo assim todas as recargas que ocorrem com mínima frequência, ocorrerão simultaneamente em 70% dos casos;
- Fator de hábito: o fator de hábito adotado foi de 80%, ou seja ao menos 80% da frota de VEs irá realizar ao menos uma recarga diariamente;
- Pu limite para carregamento: foi adotado o limite de 70% de carregamento sobre capacidade nominal para os trechos;

- Percentual de Trechos acima do limite: o limite para adotado para as simulações de estresse do sistema, foi de 2% do total de km dos trechos, estarem acima do limite de carregamento;
- Pu limite para tensão: foi adotado o limite de 93% da tensão nominal das barras;
- Percentual de Barras abaixo do limite: adotou-se 2% das barras abaixo do limite, no caso das alternativas de estresse;
- Evolução do mercado: os percentuais de evolução de mercado na região atendida pela SE VVE, foram fornecidos pela EDP ESCELSA e se encontram na Tabela 5-7.

Tabela 5-7. Evolução do mercado da região atendida pela SE VVE

Ano	Taxa %
2013	3,97
2014	3,08
2015	3,32
2016	3,41
2017	3,42
2018	3,43
2019	3,47
2020	3,49

5.5.4 Resultados das simulações de impacto

Serão apresentados os resultados e análises das simulações realizadas, para avaliação do cenário “Cidade elétrica” (CEL), considerando o horizonte 2013 – 2020 e a simulação que força o estresse da rede. Estas simulações foram realizadas utilizando as seguintes formas de carregamento;

- Carregamento sem controle: onde as concessionárias não exercem nenhum tipo de controle sobre o cliente, resultando, em um grande número de recargas no horário de ponta do sistema;
- Carregamento considerando tarifa dual: considera a cobrança de uma tarifa com valor diferenciado em horários de pico do sistema;

- Carregamento com controle centralizado ótimo: a concessionária que controla o carregamento, de forma a otimizar o uso de seu sistema de distribuição.

5.5.4.1 CEL 22 – Horizonte de planejamento 2013 - 2020

Nas simulações realizadas considerando o CEL 22, para o horizonte 2013 – 2020, o acréscimo de potência em relação ao sistema sem a entrada dos VEs, evolui gradativamente, acompanhando a penetração projetada anteriormente como pode se ver na Tabela 5-8 e nas Figura 5-22 e Figura 5-23.

Tabela 5-8 Acréscimo de potência CEL Sem controle - 2013 -2020

Ano	Penetração (%)	Acréscimo de potência CEL 22 19h as 20h (kW)
2013	0,00	338
2014	0,01	389
2015	0,06	395
2016	0,14	404
2017	0,28	423
2018	0,52	452
2019	0,89	505
2020	1,42	580

Figura 5-22. Carga dos VEs - CEL Sem controle - 2013 -2020

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

O acréscimo de potência no CEL sem nenhum tipo de controle, foi simulado, de forma a distribuir a carga por todo o dia, no horário comercial podemos verificar em 2020 um acréscimo de 400 kW, representando as recargas realizadas em eletropostos públicos durante o dia. Ao final do dia tem-se um pico de carga que

começa a subir às 16:00 hs e atinge o seu ápice as 21:00 hs, retratando os consumidores que carregariam os seus VEs ao chegar em casa.

Figura 5-23. Curva de Potência na SE VVE - CEL Sem controle - 2013 -2020

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Quando a carga dos VEs é projetada na curva de carga projetada para 2020, da concessionária, o aumento do consumo no horário de pico conforme o esperado é de 580 kW, representando 1% da carga neste horário.

Na Tabela 5-9 e na Figura 5-24, são apresentadas a evolução das barras com tensão deteriorada em algum patamar do dia.

Tabela 5-9. Percentual de barras com tensão deteriorada - CEL Sem controle - 2013 -2020

Ano	Penetração (%)	%Barras com pu da tensão < 0.93	
		Sem VE	CEL 22
2013	0.00%	0.09%	0.09%
2014	0.01%	0.13%	0.13%
2015	0.06%	0.14%	0.14%
2016	0.14%	0.15%	0.15%
2017	0.28%	0.15%	0.15%
2018	0.52%	0.16%	0.16%
2019	0.89%	0.16%	0.16%
2020	1.42%	0.59%	0.74%

A variação da tensão em relação a encontrada antes da inserção dos VEs é quase nula, com a maior variação ocorrendo no ano de 2020, onde atinge-se o máximo da frota de VEs prevista.

Figura 5-24 Distribuição de tensão na SE VVE - CEL Sem controle - 2013 -2020

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

A variação da tensão em relação a encontrada antes da inserção dos VEs é quase nula, com a maior variação ocorrendo no ano de 2020, onde atinge-se o máximo da frota de VEs prevista.

Na Figura 5-25, são apresentadas as distribuições do carregamento.

Figura 5-25. Distribuição do carregamento na SE VVE - CEL Sem controle - 2013 -2020

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Nota-se um impacto mínimo na inserção dos VE ao longo do horizonte 2013 – 2020.

Na Tabela 5-10, é verificada a evolução das perdas na simulação e comparada com a base de referência para o horizonte 2013 – 2020. A diferença máxima com relação a base de referência foi de 1%.

Tabela 5-10. Evolução das perdas - CEL Sem controle - 2013 -2020

Ano	Penetração (%)	Perdas (MWh/dia)		
		BASE	CEL 22	Diferença
2013	0.00%	5.39	5.42	0.03
2014	0.01%	5.81	5.85	0.04
2015	0.06%	6.16	6.20	0.05
2016	0.14%	6.56	6.61	0.05
2017	0.28%	7.00	7.05	0.05
2018	0.52%	7.47	7.53	0.06
2019	0.89%	7.98	8.05	0.07
2020	1.42%	8.53	8.62	0.09

A evolução das perdas, não sofre um incremento significativo com a demanda acrescentada, atingindo com a penetração máxima 32,85MW, representando na tarifa residencial B1, R\$ 7.297,29.

5.5.4.2 CEL 24 e 26 – Horizonte de planejamento 2013 - 2020

Na Tabela 5-11, Figura 5-26 e Figura 5-27 é verificado o acréscimo de potência no horário de pico para as alternativas de carregamento no ano 2020.

Tabela 5-11. Acréscimo de potência CEL 22, 24 e 26

Alternativa	Penetração (%)	Acréscimo de potência - 19h as 20h (kW)
CEL 22	1.42%	580,00
CEL 24	1.42%	366,00
CEL 26	1.42%	428,00

Figura 5-26. Carga dos VEs - CEL 22, 24 e 26

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-27. Curva de potência na SE VVE no ano de 2020 – CEL 22, 24 e 26

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Nota-se que a inserção de 1,42% de VEs na frota de automóveis, não é suficiente para causar uma alteração no horário de pico do consumo.

Podemos verificar na Tabela 5-12 e na Figura 5-28 qual seria o impacto dos cenários CEL 22, 24 e 26 na quantidade de barras deterioradas na SE VVE.

Tabela 5-12. Percentual de barras com tensão deteriorada - CEL 22, 24, 26

Ano	ALTERNATIVA	%Barras com pu da tensão < 0.93
2020	BASE	0.59%
2020	CEL 22	0.74%
2020	CEL 24	0.67%
2020	CEL 26	0.69%

Fonte: Pelegriini et al. (2014)

Figura 5-28. Distribuição de tensão na SE VVE - CEL 22, 24, 26

Fonte: Pelegriini et al. (2014)

A alternativa CEL 24 tarifa Dual, apresenta o melhor desempenho inclusive quando comparada com a alternativa de recargas ótimas (CEL 26) onde a concessionária é que controla o carregamento.

Na Figura 5-29 se encontram os impactos da frota de VEs no carregamento da SE em 2020.

Figura 5-29. Distribuição de carregamento na SE VVE - CEL 22, 24, 26

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

A adoção dos VEs, não traz impacto significativo na carga da SE.

O acréscimo ao volume de perdas diárias é mostrado na Tabela 5-13.

Tabela 5-13. Perdas na SE VVE - CEL 22, 24, 26

Ano	ALTERNATIVA	BASE	Perdas (MWh/dia)	Diferença
2020	CEL 22	8,53	8,62	0,09
2020	CEL 24	8,53	8,61	0,08
2020	CEL 26	8,53	8,61	0,08

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Com a adoção de formas de controle do carregamento, a quantidade de perdas diárias fica em 29,2 MWh/ano, o que, considerando a tarifa residencial B1 praticada em 2014 representa R\$ 6.486,49 uma diferença de R\$ 810,81 quando comparado com a realização do carregamento sem controle.

5.5.4.3 CEL 23, 25 e 27 – Alternativas de estresse

Adotando-se os limites de 2% de trechos com nível de carregamento acima de 70%, e 2% das barras com a tensão nominal abaixo dos 93%. Os níveis de penetração alcançados, ao se considerar a realização de 70% dos carregamentos simultaneamente está presente na Tabela 5-14.

Tabela 5-14. Níveis de penetração máximos atingidos - CEL 23, 25, 27

Alternativa	Controle	Penetração (%)
CEL 23	Sem	21%
CEL 25	Tarifa dual	32%
CEL 27	Ótimo	67%

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Quando inserimos VEs, até o estresse do sistema, verifica-se que a aplicação da tarifa dual ou o carregamento ótimo, permitem um grande acréscimo na presença de VEs no sistema de distribuição.

Na Figura 5-30 e Figura 5-31, pode-se verificar o acréscimo de potência referente aos carregamentos, e seu impacto na curva de potência da SE VVE.

Figura 5-30. Carga dos VEs - CEL 23, 25, 27

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Figura 5-31. Curva de potência na SE VVE – CEL 23, 25 e 27

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

Nos cenários de estresse, pudemos observar que a alteração nos controles de carregamento (tarifa dual e ótimo) traz uma alteração significativa na curva de carga da SE, conforme o esperado. Ocorre um deslocamento do horário de pico, na utilização da tarifa dual e do carregamento ótimo, permitindo assim uma melhor utilização dos ativos da concessionária.

Na Figura 5-32, podemos ver qual o acréscimo nas perdas diárias da SE VVE, nas alternativas de estresse da rede.

Figura 5-32. Perdas na SE VVE – CEL 23, 25 e 27

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

A alternativa, do controle ótimo apresenta um volume maior de perdas, o que ocorre por este tipo de controle dos carregamentos permitir uma penetração muito maior de VEs (67%).

Na Tabela 5-15, foi realizada uma extrapolação, considerando o crescimento da frota adotado no cenário CEL, para verificar em que ano o estresse da rede seria atingido.

Tabela 5-15. Previsão do ano de estresse - CEL 23, 25 e 27

Ano	Penetração (%)
2013	0,00%
2014	0,01%
2015	0,06%
2016	0,14%
2017	0,28%
2018	0,52%
2019	0,89%
2020	1,42%
CEL 23 - 2057	21,00%
CEL 25 - 2078	32,00%
CEL 27 - 2144	67,00%

Fonte: Pelegrini et al. (2014)

O horizonte para que o estresse da rede seja atingido é distante, caso a chegada dos VEs, cresça no ritmo planejado, as concessionárias terão um espaço de tempo razoável para se adequarem a chegada desta nova carga.

5.6 IMPACTO NA MATRIZ ENERGÉTICA

Para calcular qual o impacto da penetração de VEs na matriz energética nacional no ano de 2020, considerou-se que a representatividade de 3,13% da frota de veículos na área de concessão da EDP Bandeirante, frente a frota nacional de automóveis permaneceu inalterada.

A projeção de crescimento da frota, realizada anteriormente, resultou em uma frota de 1.248.414,00 no ano de 2020, na área de concessão da EDP

Bandeirante, e por esta representar 3,13% da frota nacional, teríamos 39.885.431,00 automóveis no Brasil em 2020. Segundo MMA, 2011 em média um automóvel circula 50km/dia.

Considerando estas informações, foi calculado qual seria a demanda de energia elétrica em 2020 para atender a esta demanda nos cenários de penetração projetados e considerando a adoção de uma frota de 50% e de 100% de VEs, os resultados destes cálculos estão representados na Tabela 5-16.

Tabela 5-16. Consumo de eletricidade e potência necessária para atender a demanda dos VEs

Cenários	Participação de VEs(%)	Quantidade de VEs	Kms/dia*	Consumo por dia(kWh)**	Consumo por dia(MWh)	Consumo por ano(MWh)	Potência necessária (MW)***
Solução corporativa	0,48%	191.450,07	9.572.503,44	920.433,02	920,43	335.958,05	63,92
Nicho verde chique	0,69%	273.614,06	13.680.702,83	1.315.452,20	1.315,45	480.140,05	91,35
Meu carrinho elétrico	1,14%	455.890,48	22.794.523,82	2.191.781,14	2.191,78	800.000,11	152,21
Cidade elétrica	1,14%	455.890,48	22.794.523,82	2.191.781,14	2.191,78	800.000,11	152,21
50 % da Frota em VEs	50,00%	19.942.715,50	997.135.775,00	95.878.439,90	95.878,44	34.995.630,56	6.658,22
100 % da Frota em VEs	100,00%	39.885.431,00	1.994.271.550,00	191.756.879,81	191.756,88	69.991.261,13	13.316,45

* Média brasileira 50 km/dia

** Autonomia média dos VEs 10,40 km/kWh

*** Considerado o fator de capacidade de 60% e período de 1 ano de geração

Está prevista para 2020 a capacidade de 171.138,00 MW no parque gerador brasileiro (EPE, 2011), contra uma carga de demanda instantânea de 110.396,00 MW (EPE, 2011). Com o planejado pela EPE, se tornando realidade, não teríamos necessidades de acréscimos no parque gerador para atender aos cenários projetados. Porém caso a penetração de VEs venha a atingir 50% ou 100% de participação na frota de automóveis, a situação se torna mais crítica tendo em vista que esta demanda iria representar, respectivamente 3,89% e 7,77% da potência planejada para 2020.

5.7 EMISSÕES DE GEE

Para o cálculo das emissões de GEE, foi considerada a frota nacional de 39.885.431,00 automóveis no Brasil em 2020.

Primeiramente foi calculada, qual seria a participação de cada tipo de combustível na frota de 2020, utilizando dados do 1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários, publicado pelo MMA em 2011. Com esta informação foi quantificada a emissão de GEEs em CO₂ equivalentes, utilizando os números obtidos na projeção de crescimento da frota, na Tabela 5-17, pode-se verificar os resultados destes cálculos.

Tabela 5-17. Emissões de GEEs por automóveis a combustão em 2020

	Gasolina C	Flex Fuel Gasolina	Etanol Hidratado	Flex Fuel Etanol Hidratado	TOTAL
Participação dos automóveis na frota de veículos rodoviários(%)	8,91%	24,18%	0,57%	27,26%	60,92%
Participação dos combustíveis na frota de automóveis em 2020(%)	14,63%	39,68%	0,93%	44,75%	100,00%
Quantidade de automóveis em 2020	5.835.223,80	15.828.466,25	372.619,43	17.849.121,52	39.885.431,00
km/dia por tipo de combustível (km) *	291.761.190,03	791.423.312,53	18.630.971,62	892.456.075,83	
Autonomia dos automóveis(km/L)	9,50	12,00	6,90	8,00	
Consumo diário de combustíveis(L)	30.711.704,21	65.951.942,71	2.700.140,81	111.557.009,48	210.920.797,22
CO2 equivalente(kg)	177.571.852,84		1.525.530,27		179.097.383,11
CO2 equivalente(Ton)	177.571,85		1.525,53		179.097,38
CO2 equivalente em um ano(Ton)	64.813.726,29		556.818,55		65.370.544,84

* Média brasileira 50 km/dia

Em um segundo momento foi calculada a emissão de GEEs, nos cenários de penetração projetados e considerando a adoção de uma frota de 50% e de 100% de VEs, apresentada na tabela Tabela 5-18.

Tabela 5-18. Emissões de GEEs considerando a adoção dos VEs

Cenários	Participação em VEs(%)	Quantidade de VEs	Kms/dia*	Consumo por dia(kWh)**	Consumo por dia(MWh)	tCO2 eq por dia ***	tCO2 eq por ano ***
Solução corporativa	0,48%	191.450,07	9.572.503,44	920.433,02	920,43	63,13	23.041,12
Nicho verde chique	0,69%	273.614,06	13.680.702,83	1.315.452,20	1.315,45	90,22	32.929,61
Meu carrinho elétrico	1,14%	455.890,48	22.794.523,82	2.191.781,14	2.191,78	150,32	54.866,67
Cidade elétrica	1,14%	455.890,48	22.794.523,82	2.191.781,14	2.191,78	150,32	54.866,67
50 % da Frota em VEs	50,00%	19.942.715,50	997.135.775,00	95.878.439,90	95.878,44	6.575,66	2.400.117,00
100 % da Frota em VEs	100,00%	39.885.431,00	1.994.271.550,00	191.756.879,81	191.756,88	13.151,33	4.800.233,99

* Média brasileira 50 km/dia

** Autonomia média dos VEs 10,40 km/kWh

*** Fator de emissão 0,0686 tCO2/MWh

A substituição total da frota de veículos a combustão por uma frota de VEs, reduziria em 7,34 vezes as emissões de GEEs provenientes dos automóveis de passeio no Brasil

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONTINUIDADES DO TRABALHO

6.1 CONCLUSÕES

A evolução das tecnologias que envolvem o assunto “veículo elétrico”, aliada a preocupação mundial com as emissões de poluentes e gases do efeito estufa, trazem o VE novamente à tona, colocando-o como uma alternativa menos agressiva ao meio ambiente, quando se trata de locomoção de pessoas.

Outro atrativo para a utilização de VEs é o fato de que o custo de abastecimento de um VE é mais baixo que o custo do abastecimento de um carro a combustão. Considerando que a média de consumo de um VE é de 10,40 km/kWh, teríamos um custo de R\$ 0,03 por km rodado comparado a um carro a combustão com a mesma autonomia (10,40 km/l) o custo para abastecimento com gasolina seria de R\$ 0,25. Porém, apesar de os VEs possuírem uma baixa emissão de GEEs associadas à sua utilização, eles demandam uma grande quantidade de energia elétrica para abastecer suas baterias. Tornando-os num primeiro momento uma preocupação para as distribuidoras de energia elétrica.

A pesquisa bibliográfica realizada em bases técnico-científicas, em busca de pesquisas sobre o tema do impacto dos veículos elétricos em sistemas elétricos de potência (SEPs), mostra a preocupação de diversos pesquisadores com esta nova carga. Nestes estudos também são propostas soluções para que estas redes de distribuição consigam absorver a penetração desta nova demanda, sem a necessidade de grandes investimentos em ativos.

As soluções propostas não possuem grande complexidade técnica, pois consistem basicamente em deslocar o consumo dos VEs dos horários de pico de consumo dos SEPs. Em contrapartida existe grande complexidade em viabilizar e tornar tais soluções operacionais, tendo em vista que todas elas envolvem os clientes e em muitos casos os órgãos reguladores, que ditam as diretrizes para a operação dos sistemas.

Esta dissertação teve um escopo amplo, que incorporou as etapas necessárias para a obtenção das informações e simulação dos impactos dos VEs nos sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP

ESCELSA. A frota projetada para a realização das simulações foi extrapolada a nível nacional para permitir a verificação dos impactos dos VEs nas emissões de GEEs e na matriz energética brasileira.

Devido à falta de perspectiva de alguma forma de apoio do poder público brasileiro, à adoção dos VEs. As estimativas de crescimento da frota de VEs resultaram em números relativamente baixos de participação deste tipo de veículo na frota de 2020 atingindo, mesmo, em um cenário onde diversas condições se tornam favoráveis uma participação de 1,19% nas frotas de automóveis presentes as áreas de concessão das distribuidoras.

A coleta de informações do processo de carregamento das baterias foi realizada com o apoio de duas montadoras que possuem VEs em circulação na cidade de São Paulo. Foram coletadas as informações de carregamento dos VEs *Mitsubishi i-MiEV* e *Nissan Leaf*, nos eletropostos de carregamento residencial e no de carga rápida.

Para a realização das simulações, foi escolhida uma subestação de distribuição da EDP ESCELSA, a SE VVE que abastece a cidade de Vila Velha e fornece energia a clientes residenciais e comerciais. Para a verificação dos impactos no sistema de distribuição, foram realizadas simulações utilizando o cenário CEL, e extrapolações de frota que foram expandidas, até atingir o estresse da rede.

Como resultado, pôde ser visto que nas simulações considerando o CEL, não houveram impactos significativos no sistema de distribuição, mesmo que não houvesse nenhuma forma de controle nos carregamentos realizados. Já nos cenários de estresse, já se pode verificar que a realização de controle sobre os carregamentos pode trazer resultados significativos, permitindo grande acréscimo na quantidade de VEs que seria suportada pelo sistema de distribuição, aumentando assim o fator de carga da concessionária, de forma a otimizar o uso dos ativos já instalados.

As extrapolações da frota de VEs para nível nacional, mesmo considerando a adoção de uma frota de 50% e 100% de VEs, os impactos no o PDEE, 2011 são mínimos de forma a não exigir expansão do valor planejado. No entanto, o consumo

de eletricidade pode ser considerado elevado, tendo em vista que nas projeções onde foi considerado o fator de capacidade de 60%(Médio de usinas hidrelétricas), as potências necessárias para atendimento de um ano desta demanda podem variar de 63,92 MW à 13.316,45 MW.

A adoção de VEs em nível nacional também se mostra uma alternativa interessante no que tange a redução das emissões de GEEs. Quando comparadas às emissões de veículos à combustão, os VEs emitem 7,34 vezes menos toneladas de CO₂ equivalentes que a frota de veículos à combustão projetada para 2020.

6.2 CONTINUIDADES DO TRABALHO

Como continuidade deste trabalho, tendo em vista que as baterias utilizadas representam um grande volume de resíduos e possuem uma vida útil em ciclos de carregamento. Seria interessante realizar uma projeção de qual a quantidade de resíduos de baterias que seriam geradas na adoção dos VEs. Assim como a verificação da tecnologia existente para a reciclagem destes resíduos, e se ela se encontra presente no Brasil.

Ainda na questão ambiental, um estudo quanto sobre o quanto à adoção de uma frota de VEs, pode contribuir para a redução do nível de poluição do ar em grandes centros, modelagens e comparações das emissões de material particulado, óxidos de enxofre e monóxido de carbono, podem mostrar o impacto positivo que o VE pode trazer para o meio ambiente e para a saúde da população.

Outra oportunidade de continuidade deste trabalho seria a verificação da utilização da eletricidade para abastecer veículos para transporte de massa, através da adoção de eletrificação dos ônibus ou através do retorno dos *“trolley-bus”* que já tiveram grande participação no transporte público em grandes cidades como São Paulo, e atualmente tem a sua circulação restrita a alguns bairros.

O transporte de cargas comerciais com um estudo logístico adequado, também pode ser realizado por VEs, sendo assim o estudo da substituição destas frotas, pode ser viável, principalmente devido a redução de custos com o abastecimento destes veículos.

Como foi verificada no trabalho, que existe a geração de harmônicos durante a operação dos eletropostos, o estudo sobre o comportamento destes no sistema de distribuição através de modelagens e simulações, se torna um assunto a ser estudados em futuros trabalhos.

Os cenários de penetração obtidos no trabalho, podem ser utilizados para quantificar qual seria a quantidade de VEs presentes em outros estados brasileiros, agregando assim maior precisão à projeção de crescimento da frota de VEs a nível nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABVE, O futuro dos Carros Elétricos Um artigo para eu ler daqui a 10 anos. Disponível em: <www.abve.org.br>. Acesso em 10 de Outubro. 2011

ACEA 2009, European Automobile Manufacturers Association; **Overview of CO2 based motor vehicle taxes in the EU**. Abril, 2009.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Estrutura tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica. **Sinal Econômico para a Baixa Tensão. Nota Técnica N° 362/2010-SER-SRD/ANEEL**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em 10 de Novembro. 2013

_____. Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – **PRODIST – Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição**. Resolução Normativa N° 465/2011.

ANDRADE A. C.; GOMES A. A. Electrical car – implications in the infrastructures, usage installations and electrical regulation. In: **International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10)** Granada (Spain), 23-25th March, 2010.

BRASIL Lei, 9.503 de 23 de Setembro de 1997. 1997, Brasília, 23 de Setembro de 1997

_____. Ministério do Meio Ambiente / Departamento de Mudanças Climáticas. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2011

_____. Empresa de Pesquisa Energética / Ministério de Minas e Energia. **Plano decenal de expansão de energia 2020**. Brasília, 2011

CASTRO B. H. R.; FERREIRA T. T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. Disponível em: <www.abve.org.br>. Acesso em: 15 out 2010.

Coutinho L. G.; Castro B. H. R.; Ferreira T. T. **Veículo elétrico, políticas públicas e o BNDES: oportunidades e desafios**. Disponível em: <www.abve.org.br>. Acesso em: 16 de outubro de 2010.

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. Brasil. Frota de Veículos. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/frota.htm> >. Acesso: 10 de Janeiro. 2012.

EDP, Energias de Portugal, **Relatório sobre o estado da arte do desenvolvimento do veículo elétrico em Portugal**. Relatório técnico. Lisboa 2011. 5p.

FIA FOUNDATION, **Global fuel economy initiative**. International Transport Forum (ITF) Making cars 50% more fuel efficient by 2050 worldwide, 2009

Francfort J. **Electric Vehicle Charging Levels and Requirements Overview Clean Cities**. Webinar Idaho National Laboratory December 15, 2010

GODET, M. **Manual de prospectiva estratégica**: da antecipação à ação. Ed: Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1993.

Kagan N.; Oliveira C. C. B.; Robba E. J. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2005.

Linstone, H. A.; Turoff, M. **The Delphi method**: techniques and applications. Reading, Ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1975

LOPES J. A. P., SOARES F. J., ALMEIDA P. M. R. Integration of electric vehicles in the electric power system. **Proceedings of the IEEE**. EUA. v. 99, n. 1, 2011

MARTINO, J. P. **Technological forecasting for decision making**. 3. Ed: New York: Mc Graw-Hill Inc., 1993.

MESSIAS R., BRANCO F. C., SANTOS C., SILVA J. R.. Optimizing the EV electrical demand impact. In: CIRED 21ST. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION. **Optimizing the EV electrical demand impact Frankfurt**, 6 a 9 de Junho, 2011. Paper 294.

Nemry F., Leduc G., Muñoz A. Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency **JRC Annual Report**, 2009

Ornelas E. - Basics of Electric Vehicle Charging. In: Bay Area EV Corridor Public-Private Forum & Workshop California, 16 de Setembro. 2009, - **Program Manager Clean Air Transportation Department**.

RIBEIRO, J. M. F. **O método de cenários de Michel Godet e a prospectiva estratégica**. Ed: Lisboa: DSP-DPP, 1997 (Série Prospectiva: métodos e aplicações)

RICHARDSON P., TAYLOR J., FLYNN D., KEANE A. Stochastic analysis of the distribution networks impact of electric vehicles on distribution. In: CIRED 21st. International Conference on Electricity Distribution. Frankfurt, 6 a 9 de Junho. 2011. Paper 1158. **Stochastic analysis of the distribution networks impact of electric vehicles on distribution**

SILVA, L. L. C.; WRIGHT, J. T.C. (2011). Future electromobility in São Paulo city: the ultra-small electric vehicle alternative. In: European Electric Vehicle Congress

Proceedings 2011. Bélgica, 26 a 28 de Outubro. **Future electromobility in São Paulo city: the ultra-small electric vehicle alternative.**

STEEN D., LE A. T., VAZQUEZ M. O., CARLSON O., BERTLING L., NEIMANE V. Scheduling charging of electric vehicles for optimal distribution systems planning and operation. In: CIRED 21st. International Conference on Electricity Distribution. Frankfurt, 6 a 9 de Junho. 2011. Paper 1104. **Future electromobility in São Paulo city: the ultra-small electric vehicle alternative.**

NOVA IORQUE. New York City's Office of Long-Term Planning and Sustainability. **PlaNYC - Exploring Electric Vehicle Adoption in New York City.** 2011

Pelegrini M. A., Kagan H. Zamora F. H. P., Gardiman V. L. G., Gavazzi M., Silva J. P. N., Fredes M. A. P., Zamboni L., Grimon J. A. B. i, Gonçalves C. A. M., Amedomar A. A., Carvalho D. E., Sampaio L. E., Feldmann P. R. Relatório Final **Avaliação dos possíveis cenários, experimentação e mensuração dos impactos dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição da Bandeirante e da Escelsa P&D ANEEL PD-0391-0010/2011**, 2014.

Plug In Recharge. Estados Unidos da América. Infrastructure Standards. Disponível em: <<http://www.pluginrecharge.com/p/infrastructure-standards.html>>. Acesso em 02 de Março. 2013.

SINAPGRID: Software para cálculo de fluxo de potência. Sinapsis Inovação em Energia S/S Ltda, 2013.

Sobre Administração. Ciclo PDCA Demming. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/o-ciclo-pdca-deming-e-a-melhoria-continua>>. Acesso em 15 de Fevereiro. 2013.

TAYLOR J., MAITRA A., ALEXANDER M., BROOKS D., DUVALL M. Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations. 2010. **Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations.**

VICHAS, R.P. **Complete Handbook of Profitable Marketing Research Techniques.** Ed: Englewood Cliffs, PrenticeHall, Inc., 1982.

Westbrook M. H. **The Electric Car – Development and Future of Battery, hybrid and fuel-cell cars** Ed. IET Power and Energy, 2007

WRIGHT, James T. C. GIOVINAZZO, Renata A. Delphi – Uma Ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo. In: **Caderno de Pesquisas em Administração.** São Paulo, v. 01, no 12, 2º trimestre de 2000.

WRIGHT, J. T. C.; SPERS, R. G. O País no futuro: aspectos metodológicos e cenários. In: **Revista Estudos Avançados**. Jan a Abril 2006. Vol. 20. No 56. p. 13-28. São Paulo.