

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Christoffer Daniel Schwertner

**UMA METODOLOGIA PARA O ESTUDO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM VEÍCULOS ELÉTRICOS E ESTAÇÕES DE
RECARGA EM ELETROPOSTOS**

Panambi, RS

2017

Christoffer Daniel Schwertner

**UMA METODOLOGIA PARA O ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM
VEÍCULOS ELÉTRICOS E ESTAÇÕES DE RECARGA EM ELETROPOSTOS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Polo UAB Panambi, como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Orientador: Prof. Dr. Geomar Machado Martins

Panambi, RS

2017

Christoffer Daniel Schwertner

UMA METODOLOGIA PARA O ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM VEÍCULOS ELÉTRICOS E ESTAÇÕES DE RECARGA EM ELETROPOSTOS

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Polo UAB Panambi, como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Aprovado em 11 de Novembro de 2017:

Dr. Geomar Machado Martins (UFSM)
Presidente-Orientador

Dr. Flávio Dias Mayer (UFSM)
1º Avaliador

Dr. Natanael Rodrigues Gomes (UFSM)
2º Avaliador

Dr. Ronaldo Hoffmann (UFSM)
Suplente

Panambi, RS
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela sua soberania.

Agradeço à minha família que me apoiou em todo momento me dando paz e amor para poder trabalhar com tranquilidade. Mesmo na distância tudo se fez possível e seu apoio incondicional é motivo de eterna gratidão.

Agradeço à Paula Purper que sempre esteve ao meu lado e essa companhia me faz completo.

Agradeço ao pessoal da Fundação CERTI que possibilitou a integração de pessoas e assim surgiu este trabalho que ainda tem muito potencial. Em especial ao Cesare Pica que me aceitou no projeto e ao Alexandre Marcondes que indicou a oportunidade. Agradeço também ao apoio técnico do Kadu e do Daniel auxiliando nas medições e nos testes.

Agradeço ao meu orientador Geomar que me auxiliou nas demandas deste trabalho e com paciência me guiou à conclusão dele.

Quando você pode medir o que está falando a respeito, e expressá-lo em números, você sabe alguma coisa a seu respeito: mas quando você não pode medi-lo, quando você não pode expressá-lo em números, seu conhecimento é de uma natureza escassa e insatisfatória.

(Lord Kelvin)

RESUMO

UMA METODOLOGIA PARA O ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM VEÍCULOS ELÉTRICOS E ESTAÇÕES DE RECARGA EM ELETROPOSTOS

AUTOR: CHRISTOFFER DANIEL SCHWERTNER
ORIENTADOR: GEOMAR MACHADO MARTINS

Os veículos elétricos surgiram antes dos movidos à combustão interna mas são tratados hoje como novidade e uma nova solução para a mobilidade humana. Apesar de não ser nova esta tecnologia, com o tempo, ela foi aperfeiçoada e hoje o seu uso está limitado pela infraestrutura precária em países como o Brasil para o uso livre destes veículos. Projetos de pesquisa e desenvolvimento têm buscado soluções e divulgação desta tecnologia visando difundir a informação e provocar o interesse nos veículos elétricos. No caso da CELESC em Santa Catarina houve um interesse de saber qual seria o impacto desses veículos na rede de distribuição a qual esta empresa gerencia. A Fundação CERTI como executora do projeto busca estas informações e, portanto, testes com os veículos e as instalações de recarga construídas são úteis para o desenvolvimento dos eletropostos. Neste trabalho busca-se conhecer a eficiência de um veículo elétrico adquirido pelo projeto de P&D e a eficiência da estação de carregamento utilizada. O resultado mostra que um veículo elétrico é até sete vezes mais eficiente no desempenho energético em relação a um carro normal movido à gasolina e a estação de carregamento é mais eficiente que informado pelo fabricante no padrão de carregamento utilizado.

Palavras-chave: eficiência energética, estação de recarga, veículos elétricos.

ABSTRACT

STUDY OF THE ENERGY EFFICIENCY ON ELECTRICAL VEHICLES AND RECHARGEABLE STATIONS IN

**AUTHOR: CHRISTOFFER DANIEL SCHWERTNER
ADVISER: GEOMAR MACHADO MARTINS**

Electric vehicles emerged before the internal combustion ones but are still treated as novelty and a new solution for human mobility. Although this is not a new technology, in the course of time it was improved and today it's use is limited by precarious infrastructure in countries such as Brazil. Research and development projects have sought to solutions and dissemination of this technology in order to induce more interest in electric vehicles. In the case of CELESC in Santa Catarina state, there has been an interest to know the impact of those electrical vehicles in the grid which this company manages. The CERTI Foundation as project executor seeks this information and therefore, tests with the vehicles and charging facilities are needed to develop the charging station system. In this work, is sought to know the efficiency of an electrical vehicle acquired by this R&D project and the efficiency of the charging station utilized. The results show that an electrical vehicle is up to seven times more energy efficient that a regular internal combustion car moved by gasoline and the charging station used is slightly more efficient than informed by the manufacturer.

Keywords: charge stations, electric vehicles, energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Representação da cadeia WTW. | 14 |
| Figura 2.2 – Análise <i>well-to-wheel</i> de eficiência: diesel vs elétrico. | 15 |
| Figura 3.1 – Representação dos tipos de sistemas de tração instalados em um veículo. | 17 |
| Figura 4.1 – Estação de recarga (carregamento rápido) instalada no posto Angeloni na cidade de Porto Belo. | 18 |
| Figura 4.2 – Estação de recarga (carregamento lento) instalada na sede da Fundação CERTI em Florianópolis. | 19 |
| Figura 4.3 – Estação de recarga (carregamento rápido) instalada no posto Ilha Bela em Florianópolis. | 19 |
| Figura 4.4 – Conector do padrão SAE J1772. | 21 |
| Figura 4.5 – Conector do padrão SAE J1772 Combined Charging System (CCS) ou Combo Tipo 1. | 21 |
| Figura 4.6 – Conector do padrão Tipo 2 (Mennekes). | 22 |
| Figura 4.7 – Conector do padrão Combo Tipo 2 ou CCS. | 22 |
| Figura 4.8 – Conector do padrão CHAdeMO. | 23 |
| Figura 4.9 – Placa de dados da estação de recarga EFACEC QC45. | 24 |
| Figura 4.10 – Estação de recarga EFACEC QC45. | 25 |
| Figura 4.11 – Estação de recarga desenvolvida com tecnologia nacional. | 25 |
| Figura 5.1 – Carro Elétrico BMW i3. | 26 |
| Figura 5.2 – Carro Elétrico Mitsubishi i-MiEV. | 27 |
| Figura 5.3 – Carro Elétrico Renault ZOE. | 27 |
| Figura 5.4 – Carro Elétrico BYD modelo e6. | 28 |
| Figura 5.5 – Carro Elétrico Renault TWIZY. | 28 |
| Figura 5.6 – Trajeto urbano. | 31 |
| Figura 5.7 – Trajeto rural. | 32 |
| Figura 5.8 – Analisador de Energia Fluke modelo 433. | 33 |
| Figura 5.9 – Capacidade calculada da bateria do VE Mitsubishi i-MiEV. | 34 |
| Figura 5.10 – Eficiência em cada teste dado em km/kWh. | 37 |
| Figura 5.11 – Velocidade média em cada teste dado em km/h. | 38 |
| Figura 5.12 – Forma de onda da carga número 1. | 40 |
| Figura 5.13 – Forma de onda da carga número 4. | 40 |
| Figura 5.14 – Forma de onda da carga número 8. | 41 |
| Figura 5.15 – Eficiência do carregamento por faixa de SoC da bateria. | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Resumo dos padrões de conectores para carregamento de veículos elétricos. | 23 |
| Tabela 2 – Características dos veículos elétricos adquiridos no projeto de P&D. | 29 |
| Tabela 3 – Carregamentos do VE Mitsubishi i-MiEV. | 35 |
| Tabela 4 – Trajetos percorridos com o veículo Mitsubishi i-MiEV. | 36 |
| Tabela 5 – Carregamentos monitorados com analisador de energia na estação QC45. | 39 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CA | Corrente Alternada |
| CC | Corrente Contínua |
| CCS | Sistema de Carregamento Combinado (do inglês, <i>Combined Charging System</i>) |
| CE | Comissão Europeia |
| CELESC | Centrais Elétricas de Santa Catarina |
| CERTI | Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras |
| MCI | Motor a Combustão Interna |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| SAE | <i>Society of Automotive Engineers</i> |
| SOC | Estado de Carga (do inglês, <i>State Of Charge</i>) |
| TTW | Do Tanque à Roda (do inglês, <i>Tank to Wheel</i>) |
| VE | Veículos Elétricos |
| VEB | Veículos Elétricos à Bateria |
| VEH | Veículos Elétricos Híbridos |
| VEHCC | Veículos Elétricos a Células de Combustível |
| WTW | Do Poço à Roda (do inglês, <i>Well to Wheel</i>) |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 12 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral..... | 12 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 13 |
| 2 | SISTEMAS DE RECARGA | 14 |
| 3 | VEÍCULOS ELÉTRICOS | 16 |
| 4 | METODOLOGIA | 18 |
| 4.1 | ESTAÇÕES DE RECARGA | 20 |
| 4.2 | VEÍCULOS ELÉTRICOS | 26 |
| 5 | ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS | 34 |
| 5.1 | TESTES DE CAMPO..... | 34 |
| 6 | CONCLUSÃO | 43 |
| 6.1 | TRABALHOS FUTUROS | 43 |
| 7 | REFERÊNCIAS | 45 |

1 INTRODUÇÃO

Os veículos são equipamentos essenciais nos dias atuais no meio de uma sociedade, seja para locomoção de carga ou passageiros, tanto na área de lazer como para o trabalho. Segundo o estudo da demanda de energia da Empresa de Pesquisa Energética, o setor de transporte é o segundo maior consumidor de energia no Brasil representando 31,3 % do total, atrás somente do setor industrial que consome 35,1 % (EPE, 2014).

No horizonte de 2050, o setor de transporte poderá ser responsável por importantes transformações. No âmbito do transporte de passageiros, com o aumento da população urbana, o aumento da renda per capita e a preocupação com a sustentabilidade das cidades, aliado à penetração de novas tecnologias, novos incentivos poderão mudar o perfil da mobilidade urbana. No transporte de cargas, o mesmo aumento de renda pode trazer um aumento do fluxo de mercadorias refletindo em maior atividade neste setor (EPE, 2014).

Com uma proposta de novidade no setor de transportes, o veículo elétrico (VE) é proposto como uma alternativa de mobilidade para concentrações urbanas. Ao contrário do pensamento comum, este tipo de veículo foi industrializado nos anos de 1880, antes dos movidos à combustão interna. A partir da década de 1920 houve um declínio na procura dos carros elétricos em parte pela incapacidade de percorrer longas distâncias, pelas descobertas de poços de petróleo e pela produção em massa de veículos a gasolina que diminuiu muito o valor em relação aos elétricos (BARAN, 2012).

A partir dos anos 70 questões ambientais relacionadas a exploração de recursos naturais não renováveis e a crise do petróleo trouxeram uma nova época propícia para os veículos elétricos que possibilitavam baixa emissão de poluentes e possibilidade de utilizar energias renováveis. A partir desta época diversos esforços foram tomados para trazer ao mercado soluções híbridas ou puramente elétricos (BARAN, 2012).

Nas possibilidades tecnológicas criadas pela indústria os veículos elétricos (VE) podem ser à bateria (VEB), híbridos (VEH) e células a combustível (VEHCC). Usa-se a definição que VE é aquele cuja propulsão de pelo menos uma de suas rodas ocorre por meio de um motor elétrico (CHAN, 2007 apud BARASSA, 2015).

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem o objetivo de auxiliar no desenvolvimento de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em andamento, como título: “Sistema de Recarga Rápida com Armazenamento Híbrido-Estacionário de Energia para Abastecimento de Veículos Elétricos no Conceito de Redes Inteligentes”. O projeto é uma iniciativa da Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) divisão de Distribuição dentro do programa de pesquisa e desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) registrado sob o código de P&D ANEEL: 5697-0414/2014.

O objetivo do projeto é estudar o carregamento de veículos elétricos, seus impactos da rede de distribuição e a forma de inserção dos eletropostos no mercado nacional. Mais específico, o projeto de P&D tem por propósito desenvolver um modelo original e viável de eletroposto para carregamento rápido de veículos elétricos, inserido no contexto de uma cidade inteligente. A Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI) é a executora do projeto, que abrange a pesquisa e o desenvolvimento de soluções técnicas e comerciais e a implantação de um eletroposto piloto (CERTI, 2016). Segundo o site oficial,

A Fundação CERTI é uma organização de pesquisa, desenvolvimento e serviços tecnológicos especializados que proporciona soluções inovadoras para a iniciativa privada, governo e terceiro setor. É uma instituição independente e sem fins lucrativos. Com sua experiência acumulada desde 1984 no ambiente de Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil, presta serviços e desenvolve produtos, sistemas e processos, aliando suas Competências em áreas-foco estruturadas por meio de seus Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras - CRITs, que trabalham em sinergia e cooperação com entidades parceiras do país e do exterior. (CERTI, 2017)

1.1.1 Objetivo Geral

No âmbito deste trabalho o objetivo é quantificar dados relacionados à eficiência da estação de recarga instalada no posto Ilha Bela em Florianópolis bem como quantificar a eficiência do veículo elétrico i-MiEV. Uma metodologia foi planejada para adquirir as informações necessárias para análise neste trabalho. No momento, algumas unidades estão em processo de instalação ou funcionando e deseja-se adquirir dados para acompanhar o desempenho destes pontos de recargas dos veículos elétricos. Os dados coletados são importantes para trazer informações sobre a operação destas unidades piloto, seu funcionamento e para qualificar se atendem às especificações do fabricantes.

1.1.2 Objetivos Específicos

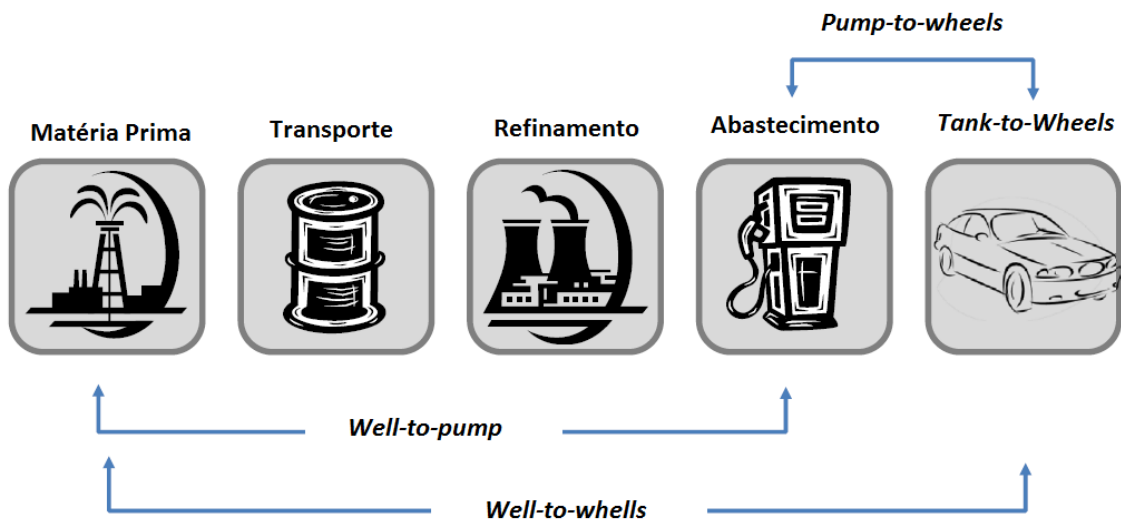
Como objetivos específicos, citam-se:

- 1) Avaliar o desempenho dos veículos elétricos adquiridos pelo projeto a partir de medições da distância percorrida por unidade de energia consumida.
- 2) Estudar o impacto na eficiência do veículo elétrico realizando percursos em trajetos de estrada e trajetos urbanos.
- 3) Avaliar a eficiência da estação de recarga instalada no posto Ilha Bela identificando qual protocolo de recarga possui mais perdas e comparando os resultados com valores informados pelo fabricante.

2 SISTEMAS DE RECARGA

Um ponto relevante na inserção dos veículos elétricos como meio de transporte de massa, é a estimativa da eficiência energética dos sub-processos da cadeia *well-to-wheel* (WTW, de tradução livre: do poço à roda). Para estes estudos, devem ser consideradas perdas na extração do combustível, perdas de refinamento, perdas de transporte, transmissão e distribuição e a eficiência do veículo denominada *tank-to-wheels* (TTW, de tradução livre: do tanque à roda). A Figura 2.1 ilustra a cadeia WTW.

Figura 2.1 – Representação da cadeia WTW.



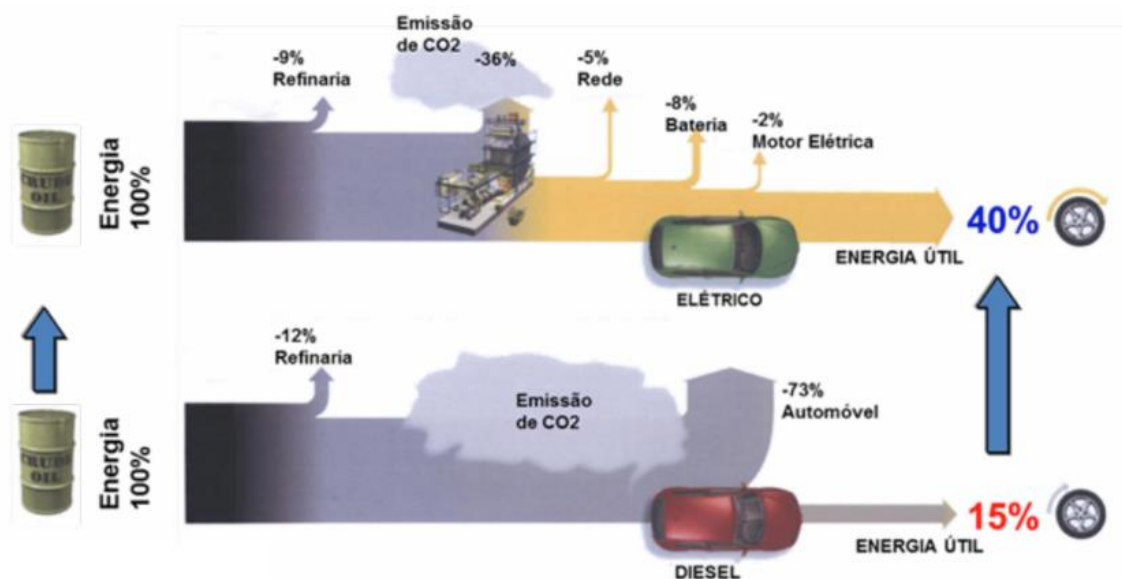
Fonte: Adaptado de CURRAN *et al.*, (2014).

De acordo com CURRAN *et al.* (2014), que calculou uma estimativa para a eficiência da cadeia WTW comparando um VE com um veículo à combustão de gás natural, este apresenta uma eficiência na faixa de 11 a 22 % enquanto o VE possui uma eficiência global na faixa de 22 a 35 %, ou seja, de duas a três vezes mais eficiente. Se considerarmos combustíveis derivados de petróleo esta diferença é ainda maior. Segundo NOVAIS (2006), analisando um automóvel que utiliza como combustível o diesel, a energia útil no fim da cadeia WTW é de 15 % enquanto no VE chega a 40 %, além do fato de emitir menos dióxido de carbono (CO₂). O autor compara a eficiência global para uma mesma quantidade de petróleo utilizado em um caso processando em diesel e depois consumido pelo motor à combustão e, no outro caso, esta mesma quantidade de petróleo é utilizada para gerar energia e depois ser consumida por um veículo elétrico. De qualquer forma este estudo não tem tanto impacto na realidade brasileira pois a energia elétrica

gerada a partir do petróleo foi de 2,4 % do total onde a fonte hidrelétrica representa 68,1 % da geração de energia elétrica no país (EPE, 2017).

O autor JÚNIOR (2014) confirma que os impactos globais causados por um veículo à combustão interna são bem mais relevantes ambientalmente se comparados aos impactos dos veículos elétricos. O estudo WTW para o caso do veículo alimentado por diesel é representado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Análise *well-to-wheel* de eficiência: diesel vs elétrico.



Fonte: NOVAIS (2006).

Um ponto crítico para o desenvolvimento dos veículos elétricos é a infraestrutura para o abastecimento destes veículos. De forma geral, a falta desta infraestrutura não é impeditiva da expansão desta tecnologia em vista de que os usuários de automóveis utilizam por, em média, 60 km por dia. Dado que a autonomia dos veículos elétricos hoje está na faixa de 120 a 180 km e em alguns modelos podendo chegar a 400 km. Em vista disso, alguns fabricantes destes automóveis disponibilizam opções para que o carregamento possa ser feito em casa, durante a noite (NOVAIS, 2006).

De qualquer modo, para recarregar um VE fora da residência ou de maneira mais rápida são necessários equipamentos específicos para fornecer energia nos padrões do veículo, chamadas estações de recarga. Como visto em THOMASON (2012), o *National Electrical Code* estabelece que os níveis de recarga podem ser classificados em três tipos ou níveis, de acordo com a potência elétrica disponibilizada:

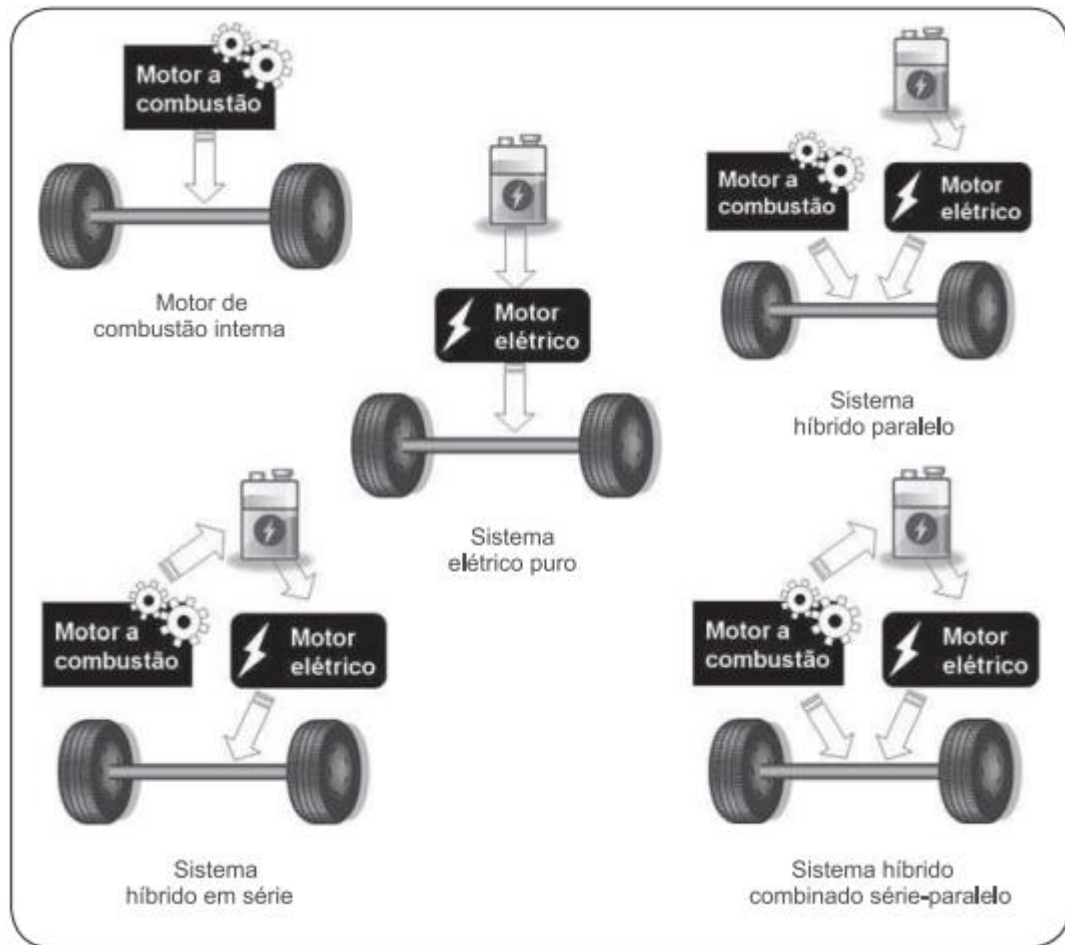
- 1) Nível 1: Este tipo é o mais simples que pode ser conectado nas tomadas residenciais. A potência está limitada em 2 kW e opera na tensão de 120 V em corrente alternada. A principal desvantagem deste tipo é que o tempo de recarga está de 8 a 14 horas para carregar completamente um VE.
- 2) Nível 2: Para este nível, os pontos de recarga podem ser encontrados tanto em residências como em pontos públicos. Este nível é limitado em 20 kW de potência operando na faixa de 208 a 230 V em corrente alternada. O tempo de recarga diminui para a faixa de 4 a 8 horas. A desvantagem é que os componentes devem ser corretamente dimensionados elevando gastos na instalação e com equipamentos pela potência mais elevada.
- 3) Nível 3: Neste caso, a grande maioria dos pontos se encontra em pontos públicos de recarga. A potência da instalação é acima de 60 kW e opera com tensão de aproximadamente 400 V em corrente contínua. Neste nível a grande vantagem é que a recarga quase completa (até 80 %, evitando causar danos às baterias) de um veículo pode estar na faixa de 15 a 30 minutos. A desvantagem, no entanto, é um custo muito elevado devido aos altos níveis de corrente e tensão de operação.

Considerando o impacto da frota de veículos elétricos no sistema elétrico brasileiro o autor NOCE (2009) indica que para uma soma de 110 mil veículos a parcela de energia necessária para seu abastecimento é de 0,073 % da geração total hidrelétrica de nosso sistema analisando dados do ano de 2007. Este valor percentual é irrisório ainda mais se for considerado que a frota atual de veículos elétricos gira em torno de 2,5 mil unidade (RIATO, 2016). Este dado portanto mostra que em termos de energia o impacto do uso de carros elétricos no curto prazo não é tão significativo.

3 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos rodoviários diferem na forma como é proporcionado o movimento em suas rodas. Uma classificação é mostrada na Figura 3.1. O veículo com motor a combustão interna (MCI) é o tipo mais difundido atualmente.

Figura 3.1 – Representação dos tipos de sistemas de tração instalados em um veículo.



Fonte: Adaptado de HAUCH; CASTRO (2010).

O VE à bateria tem sua propulsão exclusivamente a partir de um ou mais motores elétricos alimentados diretamente por baterias e estas são carregadas por uma fonte externa ao veículo.

Os veículos elétricos híbridos possuem diferentes formas de gerar propulsão, sendo uma delas eletricidade e outra fonte energética complementar. Nos veículos híbridos com motor de combustão interna, um gerador é acoplado e a energia é obtida por combustíveis líquidos ou gasosos e possuem duas configurações principais: série e paralelo. No híbrido em série o motor de combustão interna é utilizado para gerar eletricidade que alimenta as baterias e/ou o motor elétrico, eliminando a necessidade da recarga por fonte externa. Neste híbrido em série somente o motor elétrico gera propulsão no veículo. No híbrido em paralelo, tanto o motor à combustão interna quanto o motor elétrico podem acionar as rodas por meio de acoplamentos mecânicos.

Existem ainda os veículos elétricos híbridos a células de combustível. A eletricidade é gerada tanto para carregar as baterias ou para a propulsão do veículo (BARASSA, 2015).

Alguns componentes presentes nos veículos elétricos não fazem parte dos veículos com motores de combustão interna. O componente principal é a bateria que possui a função de armazenar energia. Há quatro tipos de bateria que estão presentes na indústria automobilística: as de chumbo-ácido (PbA), as de níquel-hidreto metálico (NiMH), as de sódio e as de íon-lítio e suas variações. Ainda não há uma definição sobre qual tipo de bateria poderá equipar os veículos elétricos, o que atualmente faz com que cada fabricante utilize um tipo diferente de bateria. Além das baterias, outros componentes como o próprio motor elétrico, inversor de frequência de elevada potência, transmissão diferenciada e um carregador embarcado estão presentes nestes veículos. No outro caso, componentes de um veículo com motor de combustão interna não estão presentes nos veículos puramente elétricos, como tanque de combustível e o sistema de exaustão (HAUCH; CASTRO, 2010).

4 METODOLOGIA

O estudo feito neste trabalho considera as instalações adquiridas e construídas pelo projeto de P&D que a Fundação CERTI está executando.

Figura 4.1 – Estação de recarga (carregamento rápido) instalada no posto Angeloni na cidade de Porto Belo.



Fonte: (DC, 2016).

Até o fim do projeto um corredor de eletropostos deve operar no litoral norte catarinense abrangendo aproximadamente 180 km da rodovia federal BR 101 desde Florianópolis até Joinville com uma rede de estações de recarga ao longo deste trajeto. Atualmente estão instaladas estações de recarga na sede da Fundação CERTI no bairro Trindade em Florianópolis, no posto de combustíveis Ilha Bela no bairro Itacorubi em Florianópolis, em um

posto da rede Sinuelo às margens da BR 101 em Araquari próximo a Joinville, e em um posto da rede Angeloni no município de Porto Belo.

Figura 4.2 – Estação de recarga (carregamento lento) instalada na sede da Fundação CERTI em Florianópolis.



Fonte: O autor.

Figura 4.3 – Estação de recarga (carregamento rápido) instalada no posto Ilha Bela em Florianópolis.



Fonte: O autor.

Os veículos adquiridos pelo projeto são todos comerciais, ou seja, sendo importados não houve desenvolvimento desta tecnologia neste projeto. Nas estações de recarga, por outro lado, uma opção foi desenvolvida com tecnologia nacional visando atender os veículos que possuem recargas lentas e de menor potência sendo instalado na sede da Fundação CERTI. Nos outros pontos de recarga a estação de carregamento instalada também é um produto comercial e importado.

Para as estações de recarga as medições foram feitas na entrada e na saída para quantificar a eficiência dos componentes eletrônicos. As medições foram feitas para levantar informações da estação, como corrente, tensão e potência instantânea e acumulada. São comparadas com as informações do veículo (quando não há possibilidade de medição direta na estação de recarga) ou do analisador de energia (quando é possível medir as variáveis citadas) para o cálculo da eficiência. A fim de identificar possíveis pontos de melhor desempenho, recargas com variações de capacidade são realizadas com os respectivos valores: 50, 75 e 100 % para carga e potência.

4.1 ESTAÇÕES DE RECARGA

Existem diferentes soluções comerciais para estações de carregamento disponíveis no mercado internacional. Assim como nos veículos elétricos os fabricantes desenvolvem seus produtos com diferentes padrões de carregamento, as estações de recarga precisam disponibilizar diferentes soluções para atender esta demanda.

Os padrões de carregamento trazem consigo padrões de conectores distintos, seja por ideais do fabricante ou seja pelos níveis de potência descritos no Capítulo 2, quando níveis de alta potência e carga rápida necessitam maiores cuidados de conexão e proteção. Em alguns modelos de veículos elétricos se encontra disponível dois padrões para carregamento: um para carga rápida, nível 3, e outro para recarga lenta ou convencional, níveis 1 e 2. Cada padrão de carregamento e seu respectivo conector possuem, além da funcionalidade principal de carregamento, outras funcionalidades como padrões de comunicação entre a estação de recarga e o automóvel, indicações e/ou proteções necessárias durante o carregamento.

Alguns padrões de conectores comerciais são descritos a seguir.

Figura 4.4 – Conector do padrão SAE J1772.



Fonte: (MARCUCCI, 2013).

O padrão SAE J1772 também conhecido como do Tipo 1 foi criado para ser o padrão de conector para veículos na América do Norte e Ásia e é um padrão de carregamento lento para até 3 kW em corrente alternada.

Figura 4.5 – Conector do padrão SAE J1772 Combined Charging System (CCS) ou Combo Tipo 1.



Fonte: (MARCUCCI, 2013).

O padrão SAE J1772 Combined Charging System (CCS) ou Combo Tipo 1 tem em vista a necessidade de atingir também o mercado de recargas em nível 3, a *Society of Automotive Engineers* (SAE) fez ajustes no padrão J1772 e criou o padrão J1772 CCS, que suporta recargas com tensão aplicada no veículo de até 600 V e 163 A em corrente contínua.

Figura 4.6 – Conector do padrão Tipo 2 (Mennekes).



Fonte: (MASSON, 2013).

O Tipo 2 é um padrão de conexão para veículos elétricos desenvolvido na Alemanha pela empresa Mennekes. É o padrão mais utilizado na Europa, possuindo apoio da Comissão Europeia (CE) e permite recargas em nível 1, 2 e 3, podendo ser ligado em diferentes configurações através dos seus sete pinos, operando a até 43 kW em corrente alternada a 63 A em sistemas trifásicos.

Figura 4.7 – Conector do padrão Combo Tipo 2 ou CCS.



Fonte: (KANE, 2016).

Este padrão Combo Tipo 2 é utilizado para aumentar a potência máxima disponível para a transmissão. Adaptado do conector Mennekes CCS, que funciona da mesma maneira que o CCS aplicado ao SAE J1772, ou seja, utiliza-se dos mesmos pinos de comunicação já existentes, e para transmissão de potência utiliza dois pinos novos. Com esta configuração este padrão opera a até 50 kW em corrente contínua.

Figura 4.8 – Conector do padrão CHAdeMO.



Fonte: (WALLBOX, 2016).

O padrão CHAdeMO é o primeiro tipo de conector criado para recargas em modo rápido, ele é o mais utilizado em pontos de recarga rápida de até 50 kW em corrente contínua operando com tensões de 400 V e 125 A.

Tabela 1 – Resumo dos padrões de conectores para carregamento de veículos elétricos.

| Padrão | Potência Máxima [kW] | Corrente Máxima [A] | CA / CC |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|
| SAE J1772 | 7 | 32 | CA |
| Combo Tipo 1 | 100 | 163 | CC |
| Tipo 2 | 43 | 63 | CA |
| CCS | 50 | 125 | CC |
| CHAdeMO | 50 | 125 | CC |

Fonte: (ZAP-MAP, 2014).

Em vista destes principais tipos de conexão para carregamento é importante que as estações de recarga atendam o máximo de veículos possível pois se trata de uma instalação em um auto posto onde qualquer usuário poderia fazer uso desta infraestrutura.

Figura 4.9 – Placa de dados da estação de recarga EFACEC QC45.

| efacec Electric Mobility, S.A | |
|------------------------------------|--|
| EQUIPMENT TYPE:- | EFAPOWER EV QC45 CE GCCB DCA DCC AC43 |
| INPUT CHARACTERISTICS (DC) | |
| Nominal Voltage / Frequency:- | 3 x 400V +/- 10%, 50Hz +/- 10% |
| Nominal current:- | 73A |
| Number of phases:- | 3P + N + G |
| OUTPUT CHARACTERISTICS (DC) | |
| Nominal voltage:- | 50 - 500V |
| Nominal current:- | 120A |
| COOLING:- | FORCED COOLING |
| INPUT CHARACTERISTICS (AC) | |
| Nominal Voltage / Frequency:- | 3 x 400V +/- 10%, 50Hz +/- 10% |
| Nominal current:- | 63A |
| Number of phases:- | 3P + N + G |
| OUTPUT CHARACTERISTICS (AC) | |
| Nominal Voltage / Frequency:- | 3 x 400V +/- 10%, 50Hz +/- 10% |
| Nominal current:- | 63A |
| Number of phases:- | 3P + N + G |
| COOLING:- | NATURAL COOLING |
| PROTECTION DEGREE:- | IP54 |
| APPLICABLE STANDARDS:- | EN61851-1 EN61000-6-1 EN61000-6-3 EN62196-1 EN61851-22 EN61000-6-2 EN61000-6-4 |
| SERIAL NUMBER:- | 02.S95-00959 |
| MANUFACTURING DATE:- | 05/2016 |

Fonte: O autor.

A estação de recarga adquirida pelo projeto foi o modelo QC45 do fabricante EFACEC. Esta estação pode atender tanto cargas rápidas e portanto de alta potência como carregamentos lentos. O modelo adquirido possui 3 padrões de conectores, sendo eles CHAdeMO e Combo tipo 2 ou simplesmente CCS, ambos em corrente contínua, e o conector Mennekes ou Tipo 2 em corrente alternada. Dependendo do padrão utilizado a estação pode disponibilizar uma potência de até 50 kW com uma eficiência maior de 93 % e um fator de potência de 0,98. A Figura 4.9 indica a placa de dados desta estação e a Figura 4.10 ilustra a estação de carregamento instalada e pronta para uso.

Figura 4.10 – Estação de recarga EFACEC QC45.



Fonte: O autor.

Na Figura 4.11 é apresentada a estação de carregamento desenvolvida com tecnologia nacional. O padrão de carregamento é único operando com 220 V ou 380 V até 32 A em modo monofásico ou trifásico.

Figura 4.11 – Estação de recarga desenvolvida com tecnologia nacional.



Fonte: O autor.

Neste trabalho, não foi avaliado o desempenho da estação de carregamento com tecnologia nacional.

4.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Neste projeto de P&D alguns veículos elétricos foram adquiridos e são mostrados da Figura 4.12 até a Figura 4.16. Estes são modelos comerciais e importados.

Figura 4.12 – Carro Elétrico BMW i3.



Fonte: (TEARDOWN.COM, 2015).

A BMW é a única marca que vende o veículo elétrico da marca em lojas. A aposta deste carro é a potência do seu motor elétrico de 172 cavalos e velocidade máxima de 150 km/h. Com autonomia de 190 km possui 3 modos de direção, sendo Comfort o normal, Eco Pro o modo intermediário e o modo mais econômico é o Eco Pro Plus. Tem espaço para quatro ocupantes e pesa 1315 kg.

Figura 4.13 – Carro Elétrico Mitsubishi i-MiEV.



Fonte: (REPORTS, 2017).

O Mitsubishi i-MiEV foi o primeiro modelo elétrico produzido por uma grande montadora em larga escala. Com um acabamento não muito elegante busca trazer um novo conceito de tamanho reduzido mas maior espaço interno. O motor de 80 kW (107 cv) tem autonomia de 130 km. Tem espaço para 4 passageiros e o carro pesa 1100 kg. Este carro foi utilizado nos testes e possui 3 modos de operação sendo relativos à forma de regeneração da energia cinética em energia elétrica. Os modos distinguem-se na intensidade que o motor elétrico é usado para a frenagem sendo que os freios mecânicos só atuam quando esta frenagem não é suficiente. Os 3 modos são o modo “D” para direção normal proporcionada pelo menor nível de regeneração, modo “C” que é o modo econômico quando dispõe um torque restrito e uma regeneração média, além do modo “B” que a regeneração de energia é máxima.

Figura 4.14 – Carro Elétrico Renault ZOE.



Fonte: (RENAULT, 2017a).

O Renault ZOE Hatch conta com autonomia de 210 km e motor com potência de 65 kW (88 cv) possui velocidade máxima de 135 km/h. Tem espaço interno para quatro pessoas e pesa 1468 kg. O carro lançado em 2012 roda desde 2013 na Europa mas não tem previsão de ser lançado no Brasil.

Figura 4.15 – Carro Elétrico BYD modelo e6.



Fonte: (ROCHA, 2014).

O carro da fabricante chinesa BYD já pode ser considerado um minivan 100 % elétrica. O seu motor elétrico tem potência de 90 kW, equivalente a 121 cavalos de potência e pesa 2380 kg, possui freios regenerativos e câmbio de uma marcha pode rodar até 300 km e velocidade máxima de 140 km/h. Tem lugar para cinco pessoas.

Figura 4.16 – Carro Elétrico Renault TWIZY.



Fonte: (RENAULT, 2017c).

O carro Renault Twizy veio com a proposta da montadora de reencontrar a função básica do automóvel: ir de um ponto a outro com rapidez e mobilidade. Possui câmbio automático

com funções Drive, Ré e Neutro. O carregamento é em uma tomada doméstica e tem autonomia de 100 km. Atinge 80 km/h com motor de 13 kW ou 17 cv. Pode levar até dois ocupantes e pesa 423 kg.

Na Tabela 2 é feita uma comparação entre estes carros levando em consideração a autonomia de cada um, o tipo e a capacidade da bateria, padrões de tomada para conexões no carregamento e os tempos de recarga quando na categoria lenta. Já na categoria de carregamento rápido, é considerado a potência máxima da instalação para mudar o estado de carga (no inglês State of Charge – SOC) da bateria de 0 % até 80 %, sendo que o tempo para este tipo de carga é esperado que seja menor que 30 minutos.

Tabela 2 – Características dos veículos elétricos adquiridos no projeto de P&D.

| Veículo | Autonomia (km) | Bateria | Padrões de Conector | Recarga |
|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|---|
| BMW i3 | 190 | Íon-Lítio 18,8 kWh | Mennekes CCS (Tipo 2) | Tempo de recarga lenta: 6-8h Potência de recarga rápida: 50 kW |
| Mitsubishi i-MIEV | 130 | Íon-Lítio 16 kWh | SAE J1772 CHAdeMO | Tempo de recarga lenta: 6-10 h Potência de recarga rápida: 50 kW |
| Renault ZOE | 210 | Íon-Lítio 22 kWh | Mennekes | Tempo de recarga lenta: 4-8 h Potência de recarga rápida: 43 kW |
| BYD e6 | 300 | Íon-Lítio 61,4 kWh | Mennekes | Tempo de recarga lenta: 8-9 h Potência de recarga rápida: 30 kW |
| Renault Twizy | 100 | Íon-Lítio 7 kWh | Padrão Doméstico | Tempo de recarga lenta: 3,5 h |

Fonte: (BMW, 2017), (MOTORS, 2017), (RENAULT, 2017b), (BYD, 2017), (RENAULT, 2017c).

No caso dos veículos elétricos são abordados dois percursos para a análise da eficiência: um percurso urbano e um percurso rural. Variáveis do veículo como ar condicionado, som, modo de regeneração de energia cinética para energia elétrica além do estado de carga inicial serão padronizados para a comparação de desempenho. As informações de desempenho do veículo são adquiridas pelo computador de bordo ou mostrador de estado de carga da bateria

do automóvel, portanto para o cálculo da eficiência serão considerados os valores oficiais disponibilizados pelo sistema do veículo.

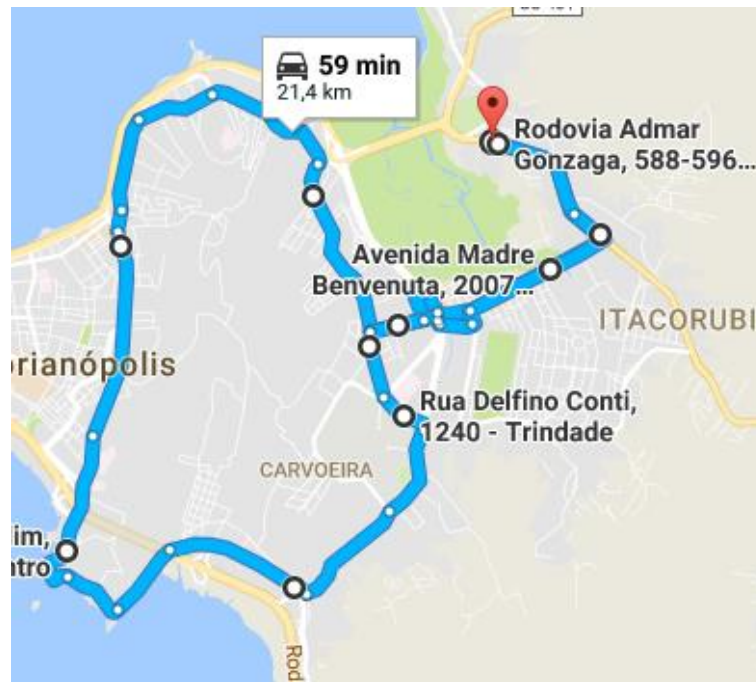
Na metodologia proposta, um circuito fechado foi definido para a verificação do desempenho dos veículos elétricos. O ponto inicial e final deste circuito foi a estação de recarga do posto Ilha Bela no bairro Itacorubi em Florianópolis pois esta estação disponibiliza a informação do SOC (estado da carga da bateria) quando o veículo não disponibiliza esta informação em valores percentuais, nenhuma outra estação se encontra no circuito percorrido durante os testes. Desta forma foi possível além de avaliar o desempenho energético do carro para o trajeto percorrido o desempenho da estação ao recarregar este carro para o estado de carga inicial do teste. O trajeto fechado foi idealizado para descarregar o VE seguindo um padrão para poder comparar o desempenho entre cada trajeto percorrido.

Este procedimento pode ser adotado para todos os veículos adquiridos pelo projeto pois como apresentado no item 4.1, a estação de carregamento QC45 dispõe de 3 padrões de conexão e recarga atendendo a grande maioria dos veículos elétricos disponíveis no mercado.

Algumas variáveis ainda continuam fora do controle do experimento, como tráfego e condições climáticas que interferem tanto no desempenho dos componentes do carro como na forma de condução do motorista. Ainda assim, este é um ponto de partida para poder comparar diferentes padrões de recarga e veículos elétricos.

Os trajetos para os testes de campo foram escolhidos de acordo com o tipo de uso normal de um veículo sendo normalmente classificado em uso urbano e rural. Usualmente o nome da via reflete esta classificação sendo chamada rodovia ou estrada por ser considerada rural e avenida ou rua quando considerada urbana. A especificação encontrada para classificar um percurso como rural foi a utilizada na página 270 do Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) que recomenda para área rural que seja de 0 a 6 o número de acessos de cada lado da rodovia por quilômetro. Para ser considerada área urbana o número de acesso deve ser maior que 13 por quilômetro.

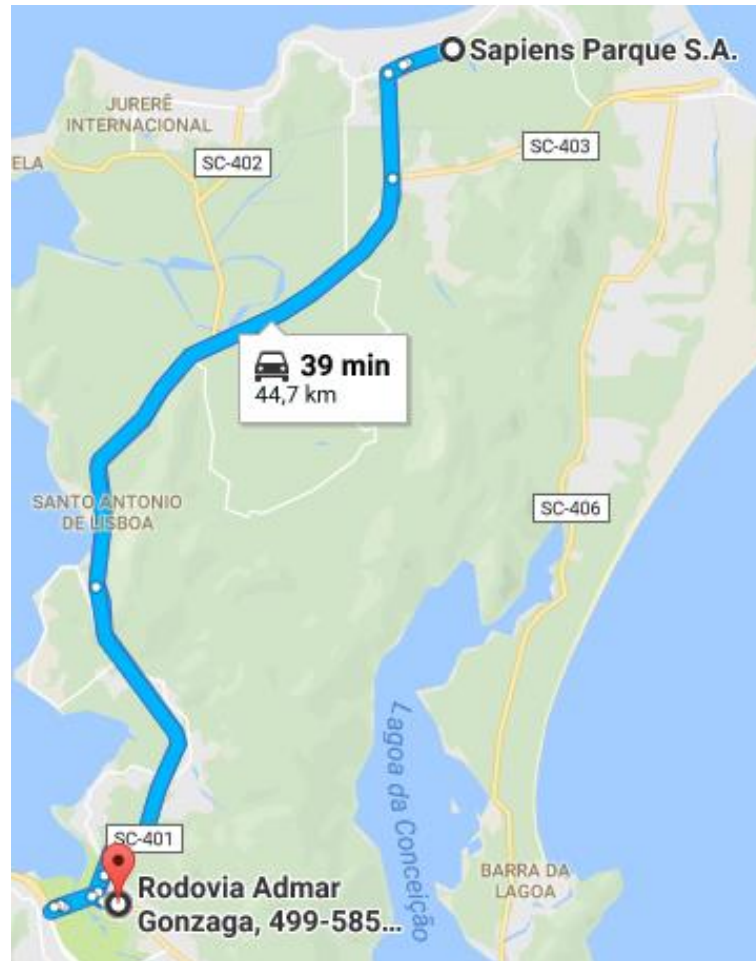
Figura 4.17 – Trajeto urbano.



Fonte: Google Maps.

Os trajetos definidos para os experimentos com VE são apresentados na Figura 4.17 e na Figura 4.18 onde o marcador em vermelho identifica o ponto inicial e final de cada circuito fechado, ou seja, a localização da estação de carregamento. Ambos circuitos iniciam e finalizam na estação de carregamento do posto Ilha Bela. O trajeto rural se estende até o parque tecnológico Sapiens Parque S.A. no norte da ilha e possui uma extensão prevista de 44,7 km com um tráfego denso mas rápido enquanto o trajeto urbano se estende por ruas de tráfego denso e lento contornando uma região de morros no centro da ilha e possui uma extensão prevista de 21,4 km.

Figura 4.18 – Trajeto rural.



Fonte: Google Maps.

Para levantar dados de estudo foram percorridos 10 vezes cada trajeto sendo 5 destas vezes somente para avaliação do desempenho do carro e mais 5 vezes para monitorar o desempenho da estação de recarga com analisador de energia Fluke 433 ilustrado na Figura 4.19.

Figura 4.19 – Analisador de Energia Fluke modelo 433.



Fonte: (FLUKE, [s.d.]).

Os resultados disponíveis até a produção deste trabalho são relacionados aos testes realizados no carro Mitsubishi i-MiEV que possui dois padrões de carregamento, um lento e um padrão rápido, CHAdeMO, que foi o objeto deste estudo. Neste padrão CHAdeMO, em todos os carregamentos o tempo de recarga ficou entre 10 e 20 minutos variando pela carga inicial e final da bateria.

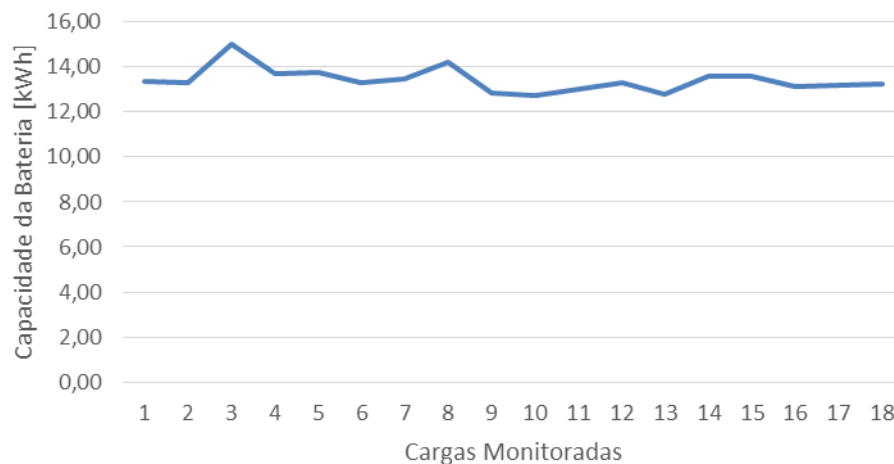
Como este carro possui mais de um modo de regeneração de energia, foram feitos iguais trajetos no modo “B” e no modo “D”, sendo 5 urbanos e 5 rurais em cada modo de operação. O modo “B” é o modo mais regenerativo, que aciona o sistema de recuperação de energia cinética mais intensamente que no modo “D”. Para identificar a energia gasta em cada trajeto o carro era conectado à estação de recarga para ser informado o estado da carga em percentual e no fim do percurso este procedimento se repetia.

5 ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

5.1 TESTES DE CAMPO

Com os dados dos carregamentos foi calculada a capacidade da bateria como 13,43 kWh através de uma média aritmética de todos os carregamentos. Este valor é diferente dos 16 kWh declarado pelo fabricante mas que ainda representa mais que 80 % da capacidade (83,93 %), no entanto, é um valor dentro do esperado sendo que as baterias de lítio possuem um limite de capacidade de descarga (profundidade de descarga máxima) que mantém uma quantidade de energia residual que nunca é acessada sob risco de causar danos ou deteriorar a bateria.

Figura 5.1 – Capacidade calculada da bateria do VE Mitsubishi i-MiEV.



Fonte: O autor.

A Tabela 3 relaciona todas as variáveis relacionadas aos carregamentos do VE i-MiEV enquanto a Tabela 4 relaciona todos os percursos realizados e suas informações energéticas.

Tabela 3 – Carregamentos do VE Mitsubishi i-MiEV.

| Data | Hora Inicial | SOC Inicial [%] | SOC Final [%] | Energia [kWh] | Capacidade da Bateria (Calculada) |
|-------------|---------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--|
| 02/jul | 14:42 | 17 | 77 | 8,03 | 13,38 |
| 28/jun | 19:55 | 38 | 81 | 5,73 | 13,33 |
| 29/jun | 19:30 | 61 | 75 | 2,1 | 15,00 |
| 29/jun | 20:05 | 33 | 80 | 6,44 | 13,70 |
| 30/jun | 20:15 | 33 | 57 | 3,31 | 13,79 |
| 30/jun | 19:25 | 53 | 80 | 3,6 | 13,33 |
| 02/jul | 15:55 | 31 | 58 | 3,64 | 13,48 |
| 11/jul | 19:55 | 78 | 95 | 2,42 | 14,24 |
| 11/jul | 21:29 | 48 | 96 | 6,16 | 12,83 |
| 12/jul | 19:37 | 31 | 81 | 6,37 | 12,74 |
| 12/jul | 21:00 | 52 | 81 | 3,77 | 13,00 |
| 13/jul | 20:10 | 19 | 72 | 7,05 | 13,30 |
| 14/jul | 20:30 | 33 | 58 | 3,2 | 12,80 |
| 14/jul | 21:30 | 31 | 58 | 3,67 | 13,59 |
| 15/jul | 15:45 | 31 | 58 | 3,67 | 13,59 |
| 15/jul | 16:04 | 58 | 80 | 2,89 | 13,14 |
| 15/jul | 17:05 | 35 | 80 | 5,95 | 13,22 |
| 15/jul | 18:20 | 36 | 80 | 5,84 | 13,27 |

Fonte: O autor.

Tabela 4 – Trajetos percorridos com o veículo Mitsubishi i-MiEV.

| Trajetos | Distância [km] | Energia [kWh] | Duração [h] | Eficiência [km/kWh] | Velocidade Média [km/h] | Modo Regeneração |
|----------|----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------------------|------------------|
| Centro | 20,92 | 2,42 | 0:58 | 8,65 | 21,64 | D |
| Centro | 21,40 | 3,77 | 0:48 | 5,68 | 26,76 | D |
| Centro | 21,73 | 3,2 | 0:57 | 6,79 | 22,87 | D |
| Centro | 21,40 | 3,67 | 0:45 | 5,83 | 28,54 | D |
| Centro | 23,66 | 3,67 | 1:07 | 6,45 | 21,19 | D |
| Sapiens | 45,06 | 6,16 | 0:38 | 7,32 | 71,15 | D |
| Sapiens | 45,06 | 6,37 | 0:58 | 7,07 | 46,62 | D |
| Sapiens | 45,06 | 7,05 | 0:41 | 6,39 | 65,94 | D |
| Sapiens | 45,06 | 5,95 | 1:02 | 7,57 | 43,61 | D |
| Sapiens | 45,06 | 5,84 | 0:39 | 7,72 | 69,33 | D |
| Centro | 21,40 | 2,95 | 0:47 | 7,24 | 27,32 | B |
| Centro | 21,40 | 3,22 | 0:52 | 6,64 | 24,70 | B |
| Centro | 24,46 | 3,49 | 1:02 | 7,01 | 23,67 | B |
| Centro | 21,40 | 3,09 | 0:44 | 6,93 | 29,19 | B |
| Centro | 21,40 | 2,95 | 0:47 | 7,24 | 27,32 | B |
| Sapiens | 44,90 | 6,45 | 0:43 | 6,97 | 62,65 | B |
| Sapiens | 45,06 | 6,31 | 0:39 | 7,14 | 69,33 | B |
| Sapiens | 51,02 | 6,98 | 0:51 | 7,30 | 60,02 | B |
| Sapiens | 45,06 | 6,18 | 0:36 | 7,29 | 75,10 | B |
| Sapiens | 45,06 | 5,91 | 0:37 | 7,63 | 73,07 | B |

Fonte: O autor.

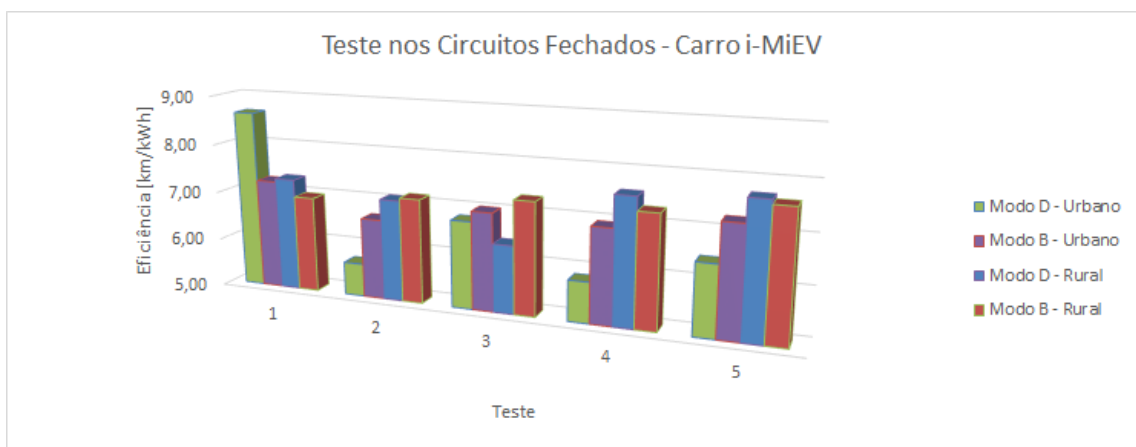
A partir dos dados nas tabelas, pode-se verificar por meio de gráficos a eficiência em cada ensaio. Durante os testes o ar condicionado esteve ligado para refrigerar a uma temperatura de 23 °C, o aparelho de rádio esteve ligado enquanto o percurso era realizado e os faróis baixos sempre ligados seguindo a legislação vigente no período. Este VE não possui outros itens de conforto que poderiam aumentar o consumo de energia.

Como valor médio o VE i-MiEV percorre 7,043 km utilizando 1 kWh. Pode-se observar na Figura 5.2 que a eficiência é ligeiramente maior em estrada do que no trajeto urbano. Considerando um carro movido à gasolina que faça uma média de 10 km/l, sabendo o poder calorífico do litro de gasolina de 8325 kcal por litro segundo PETROBRAS (2014) este mesmo carro consome 832,5 kcal por quilômetro rodado. Utilizando os fatores de conversão energéticos de caloria para kWh da ANEEL (2015) pode-se verificar que 1 kWh é equivalente

à 0,001163 kcal com a gasolina o automóvel tem um desempenho de aproximadamente 0,968 kWh/km, ou 1,033 km rodado utilizando 1 kWh para efeito de comparação com o carro elétrico, ou seja, o elétrico Mitsubishi i-MiEV é praticamente 7 vezes mais eficiente energeticamente que o carro à gasolina nas condições propostas.

A eficiência entre os modos de operação também muda e em média o modo “B” é mais eficiente, 7,14 km/kWh, enquanto o modo “D” teve como resultado a marca de 6,95 km/kWh. A diferença é de apenas 2,73 % maior para o modo “B” em relação ao modo “D”.

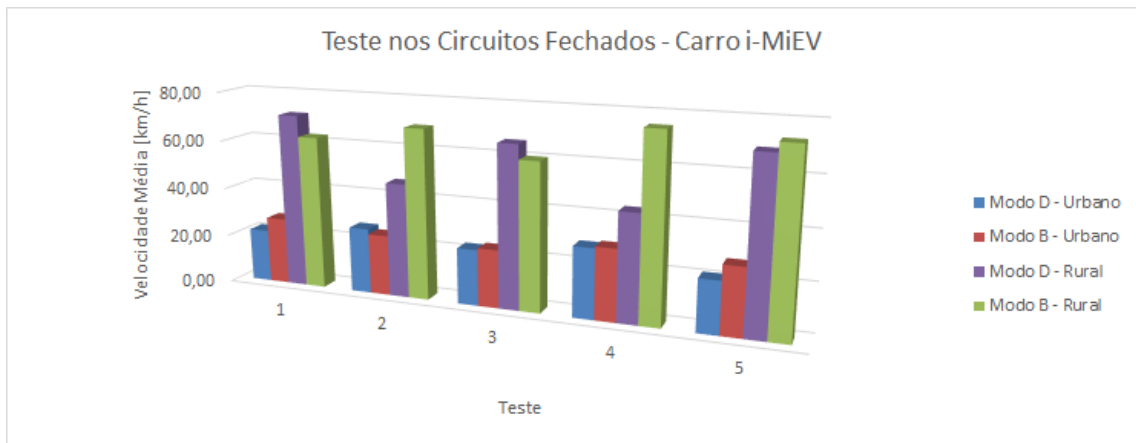
Figura 5.2 – Eficiência em cada teste dado em km/kWh.



Fonte: O autor.

Nesta Figura 5.2 pode-se observar uma tendência de que o desempenho do VE no percurso rural é levemente superior ao desempenho no percurso urbano. Em valores absolutos, no circuito rural o VE percorre 7,21 km com um kWh enquanto no circuito urbano este valor cai para 6,85.

Figura 5.3 – Velocidade média em cada teste dado em km/h.



Fonte: O autor.

Para monitorar a eficiência da estação de recarga QC45, os carregamentos foram analisados com o analisador de energia conectado no lado de corrente alternada (CA), na entrada da estação, enquanto um multímetro e um amperímetro eram utilizados no lado de corrente contínua (CC), na saída da estação, coletando assim informações de antes e depois do processamento da energia do protocolo CHAdeMO. Como o multímetro e o amperímetro não possuíam sistema de aquisição automático dos dados, a coleta das informações foi feita manualmente. Com a utilização de um gravador de áudio e o início da operação de carregamento sincronizada com o início da gravação do áudio as curvas de carga CC e CA puderam ser sincronizadas para as análises posteriores. Com este procedimento, enquanto o analisador de energia salvava os dados em CA os dados em CC eram salvos manualmente possibilitando a reconstrução da curva de carga para o lado CC. Foram coletados dados de 10 carregamentos conforme apresentado na Tabela 5.

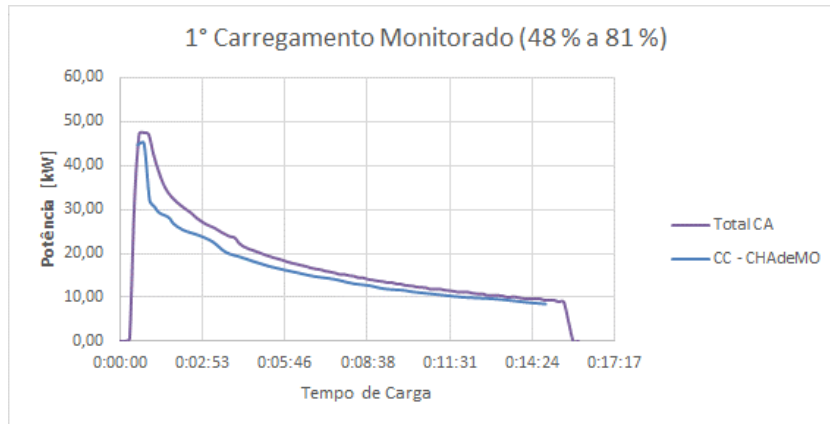
Tabela 5 – Carregamentos monitorados com analisador de energia na estação QC45.

| Carga | Energia CA [kWh] | Energia CC [kWh] | Eficiência [%] | Carga Inicial [%] |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1 | 4,60 | 4,36 | 94,78 | 25-50 |
| 2 | 2,06 | 1,80 | 87,38 | 75-100 |
| 3 | 6,73 | 6,37 | 94,65 | 25-50 |
| 4 | 7,46 | 7,05 | 94,50 | 00-25 |
| 5 | 3,40 | 3,20 | 94,12 | 25-50 |
| 6 | 3,86 | 3,67 | 95,08 | 25-50 |
| 7 | 3,86 | 3,67 | 95,08 | 25-50 |
| 8 | 3,06 | 2,89 | 94,44 | 50-75 |
| 9 | 6,33 | 5,95 | 94,00 | 25-50 |
| 10 | 6,20 | 5,84 | 94,19 | 25-50 |

Fonte: O autor.

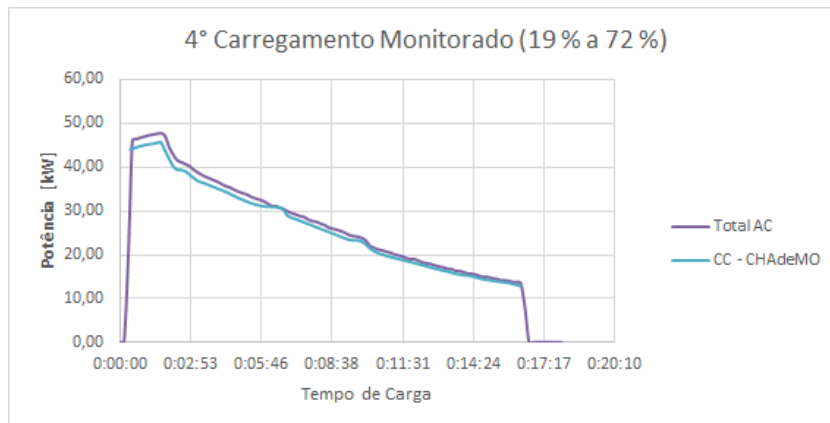
Algumas formas de onda são exibidas na Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6. As formas de onda representam o valor de energia mensurado na entrada e na saída da estação de recarga para o padrão CHAdeMO. A curva representada como “Total CA” significa a soma das 3 fases do sistema elétrico que a estação está conectada sugerindo o total de energia que é drenado da rede pela estação de carregamento. Portanto, a curva identificada por “CC - CHAdeMO” é a representação da energia que efetivamente saiu da estação de recarga e foi direcionada à bateria do carro. Com estes dados pode-se conhecer a eficiência da estação quando a energia que sai é inferior à energia que entra e a forma de onda pode trazer informações do comportamento dinâmico deste processamento de energia de potência elevada.

Figura 5.4 – Forma de onda da carga número 1.



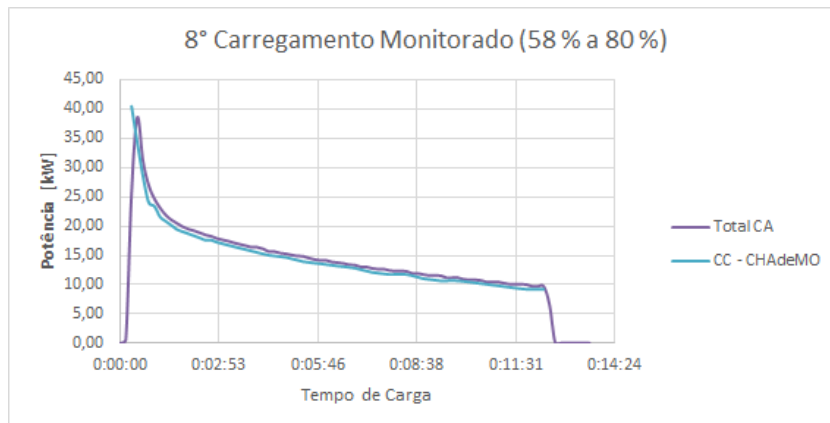
Fonte: O autor.

Figura 5.5 – Forma de onda da carga número 4.



Fonte: O autor.

Figura 5.6 – Forma de onda da carga número 8.

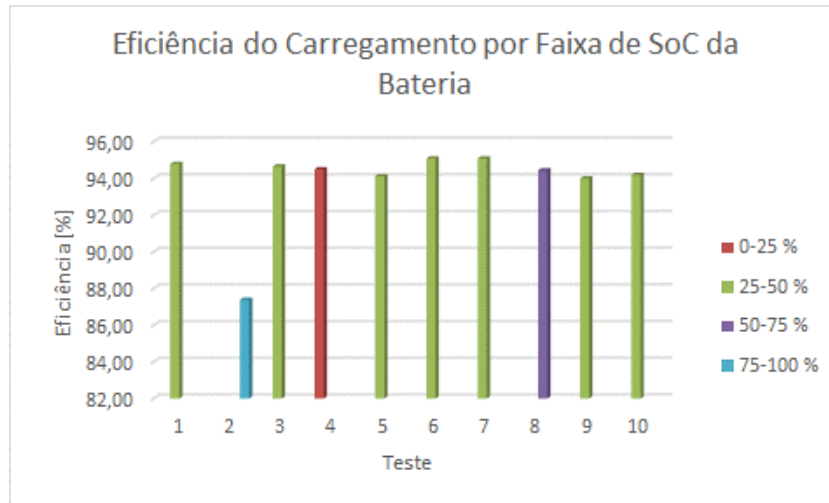


Fonte: O autor.

Como resultado, a eficiência média da estação para o padrão CHAdeMO foi de 93,82 %, acima dos 93 % indicados pelo fabricante.

Outro assunto possível de abordar com os experimentos realizados é a eficiência do carregamento separando por faixas o estado inicial da bateria (SoC). O objetivo é verificar se há alguma faixa que a eficiência é melhor ou pior. Na Figura 5.7 as barras do gráfico são separadas por cor em 4 grupos para diferenciar o SoC da bateria no início do carregamento, ou seja, em 7 testes a bateria possuía entre 25 % e 50 % da sua capacidade no início do carregamento, enquanto para as demais houve somente 1 teste para cada faixa de SoC. No gráfico é possível ver que somente no teste 2, que o SoC estava acima de 75 % que a eficiência do carregamento foi abaixo de 88 % enquanto para todos os demais testes a eficiência foi de 94 % ou superior.

Figura 5.7 – Eficiência do carregamento por faixa de SoC da bateria.



Fonte: O autor.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho trouxe os principais tópicos relacionados aos VE e o início de sua operação no Brasil. Por meio de projetos de incentivo e estudo como este desenvolvido pela Fundação CERTI e financiado pela CELESC esta tecnologia pode ganhar mais foco de setores cruciais na sociedade a fim de tornar este meio de transporte algo viável ao cidadão comum.

A eficiência WTW é mais complexa de averiguar e quantificar num trabalho mais simples como este, mas pode-se ver que a eficiência TTW é muito superior em um VE se comparar com um carro comum com MCI à gasolina sem perder desempenho e muitas vezes ter maior desempenho de potência e torque. O desempenho para o VE Mitsubishi i-MiEV chegou a ser 7 vezes superior a um carro comum que consiga percorrer 10 km com um litro de gasolina.

Para o VE Mitsubishi i-MiEV nos testes em estrada e em vias urbanas pode-se verificar que o desempenho é levemente superior em estrada do que no circuito urbano. O tempo de recarga utilizando o padrão CHAdeMO foi de 10 a 20 minutos. Também pode-se concluir que o modo de operação “B” do VE é mais eficiente do que o modo de operação “D”, mesmo sendo um valor apenas 2,73 % maior.

Outros veículos elétricos adquiridos pelo projeto não puderam ser testados durante o período de desenvolvimento deste trabalho.

Já na estação de carregamento a eficiência ficou um pouco acima dos 93 % indicados pelo fabricante utilizando o padrão CHAdeMO que pode chegar a potência de 50 kW. Este valor de eficiência se mantém relativamente estável para quando no início do carregamento a bateria possui entre 0 % e 75 % de carga. Quando a bateria possui mais de 75 % de carga o carregamento feito teve um resultado menor de 88 % de eficiência.

Os resultados são para o padrão CHAdeMO, os outros padrões de recarga presentes na estação de recarga, os padrões CCS e tipo 2, não foram utilizados pois não se teve acesso aos carros que utilizam estes padrões durante o desenvolvimento deste trabalho.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

É importante para o projeto que outros testes sejam feitos com os demais veículos adquiridos pelo projeto de P&D englobando os outros padrões de carregamento e estações de recarga desenvolvidas. Também é interessante fazer a análise estatística do número de

experimentos necessários para conseguir uma significância de 95 % e poder afirmar estatisticamente os resultados obtidos nestes 20 percursos rodados com o VE i-MiEV.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA JUNIOR, H. A. **Análise Comparativa de Veículos Elétricos e Veículos com Motor de Combustão Interna**. Belo Horizonte/MG: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2014. Dissertação de Mestrado (Engenharia da Energia).

ANEEL. Atlas da Energia Elétrica. Online, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_fatoresdeconversao_indice.pdf>. Acesso em: 21 out. 2017.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade**. Rio de Janeiro/RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. Tese de Doutorado (Planejamento Energético).

BARASSA, E. **Trajetória Tecnológica Do Veículo Elétrico: Atores, Políticas E Esforços Tecnológicos No Brasil**. Campinas/SP: Universidade Estadual de Campinas, 2015. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Política Científica e Tecnológica).

BMW. BMW i3. Online, 2017. Disponível em: <https://secure.bmw.com/com/en/newvehicles/i/i3/2015/showroom/technical_data.html>. Acesso em: 21 out. 2017.

BYD. BYD e6. Online, 2017. Disponível em: <<http://www.byd.com/la/auto/pt/e6.html>>. Acesso em: 21 out. 2017.

CERTI, F. Eletroposto CELESC. Online, 2016. Disponível em: <<http://www.eletropostocelesc.com/>>. Acesso em: 21 out. 2017.

_____. Fundação CERTI. Online, 2017. Disponível em: <www.certi.org.br>. Acesso em: 24 nov. 2017.

CURRAN, S. J. *et al.* Well-to-wheel analysis of direct and indirect use of natural gas in passenger vehicles. **Energy**, 2014. v. 75, p. 194–203.

DC. SC ganha novo posto para carros elétricos. Online, 2016. Disponível em: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/colunistas/estela-benetti/noticia/2017/08/sc-ganha-novo-posto-para-carros-eletricos-9873172.html>>. Acesso em: 21 out. 2017.

DNIT. **Manual de estudos de tráfego. Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR**. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.], 2006.

EPE. **Demanda de Energia 2050**. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.], 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA_13-14_Demanda_de_Energia_2050.pdf>.

_____. **Balanco Energético Nacional - Ano Base 2016**. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.], 2017.

FLUKE. Fluke 433 Analisadores de Qualidade de Energia Trifásica. **Fluke**, Online, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.fluke.com/fluke/brpt/ferramentas-de-qualidade-de-energia/logging-power-meters/fluke-433.htm?PID=56079>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

HAUCH, B.; CASTRO, R. De. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. [S.l.]: BNDES, 2010, p. 267–310.

KANE, M. CCS No Longer Required In UK Due To Brexit? **Inside EVs**, Online, 2016. Disponível em: <<https://insideevs.com/ccs-no-longer-required-in-uk-due-to-brexite/>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

MARCUCCI, T. How the J1772 charging standard for plug-in vehicles works. **EDN Network**, Online, 2013. Disponível em: <<https://www.edn.com/electronics-blogs/automotive-currents/4421241/How-the-J1772-charging-standard-for-plug-in-vehicles-works/>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

MASSON, L. J. European Commission Backs Mennekes Type 2 Electric Car Plug. **plugin cars**, Online, 2013. Disponível em: <<http://www.plugin-cars.com/european-commission-wants-act-help-evs-126265.html>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

MOTORS, M. i MiEV. Online, 2017. Disponível em: <<http://www.mitsubishi-motors.com/en/showroom/i-miev/specifications/>>. Acesso em: 21 out. 2017.

NOCE, T. **Estudo Do Funcionamento De Veículos Elétricos E Contribuições Ao Seu Aperfeiçoamento**. Belo Horizonte/MG: Pontifícia Universidade Católica - MG, 2009. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica).

NOVAIS, C. R. B. De. **Mobilidade Elétrica: Desafios e oportunidades**. [S.l.]: FGV Energia, 2006.

PETROBRAS. Fórmulas de Conversão. Online, 2014. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/destaques-operacionais/formulas-de-conversao/>>. Acesso em: 21 out. 2017.

RENAULT. New Renault ZOE. **Renault**, Online, 2017a. Disponível em: <<https://www.renault.co.uk/vehicles/new-vehicles/zoe-250.html>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

_____. Renault TWIZY. Online, 2017c. Disponível em: <<http://www.renault.pt/gama/veiculos-eletricos/twizy/twizy-ze-novo/>>. Acesso em: 21 out. 2017.

_____. Novo Renault ZOE. Online, 2017b. Disponível em: <<http://www.renault.pt/gama/veiculos-eletricos/zoe/novo-zoe/>>. Acesso em: 21 out. 2017.

REPORTS, C. Mitsubishi i-MiEV. **Consumer Reports**, Online, 2017. Disponível em: <<https://www.consumerreports.org/cars/mitsubishi/i-miev/2017/overview/>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

RIATO, G. Brasil tem frota de só 2,5 mil carros elétricos e híbridos. **Automotive**

Business, Online, 2016. Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/24441/brasil-tem-frota-de-so-25-mil-carros-eletricos-e-hibridos>>. Acesso em: 21 out. 2017.

ROCHA, L. Chinesa BYD apresenta o e6, carro 100% elétrico que roda 300 km por recarga. **Tec Mundo**, Online, 2014. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/carro/61653-chinesa-byd-apresenta-e6-carro-100-eletrico-roda-300-km-recarga.htm>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

TEARDOWN.COM. BMW i3 Teardown: An Electronics Masterpiece. **Tech Insights**, Online, 2015. Disponível em: <<http://www.techinsights.com/teardown.com/bmw-i3-teardown-electronic-masterpiece/#sthash.SZ7joWQk.dpbs>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

THOMASON, M. EV Charging Station “Levels”. Online, 2012. Disponível em: <<http://www.pluginrecharge.com/2009/08/charging-station-levels.html>>. Acesso em: 21 out. 2017.

WALLBOX. Electric vehicle connector types. **Wallbox**, Online, 2016. Disponível em: <<https://www.wallbox.com/no/blog/5/electric-vehicle-connector-types.html>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

ZAP-MAP. CHARGING SPEEDS & CONNECTORS. Online, 2014. Disponível em: <<https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>>. Acesso em: 21 out. 2017.