

Área: Inovação | **Tema:** Temas Emergentes em Inovação

Viabilidade Econômica de Estações de Recarga de Veículos Elétricos

Technical and Economic Feasibility in the use of Electric Vehicle Charging Station

Matheus Binotto Francescato e Cristiano Roos

RESUMO

Com a crescente busca por novas soluções tecnológicas para reduzir as emissões danosas ao meio ambiente, especialmente relacionadas ao setor automobilístico, aparecem em crescimento às vendas de veículos elétricos. Entretanto, é necessário que a infraestrutura de recarga destes veículos também seja desenvolvida. Desta maneira, são necessários estudos e pesquisas na área. Mediante a isto, o objetivo do presente trabalho é realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica envolvendo a utilização de diferentes modelos de estações de recargas para veículos elétricos no ambiente da Universidade Federal de Santa Maria. Para cumprir com este objetivo, foram analisados cinco diferentes modelos de estações de recarga organizados conforme sua potência em equipamentos de nível 2. Após, foram definidos 60 cenários envolvendo os modelos selecionados, as bandeiras tarifárias de energia elétrica vigentes e os horários de funcionamento do estacionamento abordado. O método de Engenharia Econômica utilizado foi o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) e, em adição, foi realizado a determinação do valor do R\$/kWh consumido de cada modelo. O principal resultado obtido foi um CAUE máximo de R\$ 184.399,35. Junto a isso, os valores máximo do R\$/kWh consumido obtido foram de 1,74 R\$/kWh, e o valor mínimo foi de 0,73 R\$/kWh. Conclusivamente, verificou-se que o modelo mais viável para o ambiente estudado é o POWERCHARGE P30DPN.

Palavras-Chave: Estações de Recarga. Engenharia Econômica. Veículos Elétricos.

ABSTRACT

With the increasing search for new technologic solution to reduce the damage to the environment caused by pollution, especially related to the automotive sector, the growth in sales of electric vehicles start appearing. However, it is necessary that the charging infrastructure of this type of automobiles also grow. Meaning that studies and researches are necessary in this area. Therefore, the objective of the present work is to perform a technical and economic feasibility analysis involving the use of different models of charging station for electric vehicles in the environment of the Federal University of Santa Maria. To fulfill this objective, five different models of recharging stations classified according to their power in level 2 equipment were analyzed. After that, 60 scenarios were defined involving the models, the tariffs of electric energy and the hour of operation of the parking lot approached. The Economic Engineering method used was the Equivalent Annual Uniform Cost (EAUC) and, in addition, the R\$/kWh consumed value of each model was determined. The main results obtained were, for equipment classified as level 2, a maximum EAUC of R\$ 184.399,35. Along with this, the maximum value of R\$/kWh consumed obtained were 1,74 R\$/kWh, and the minimum value was 0.73 R\$/kWh. In conclusion, it was verified that the most viable model for the studied environment is the POWERCHARGE P30DPN.

Keywords: Charging Stations. Economic Engineer. Electric Vehicles.

VIABILIDADE ECONÔMICA DE ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a popularização dos veículos elétricos está sendo cada vez mais incentivada e apoiada por entidades governamentais em diferentes países. Entre estes pode-se destacar a China como líder mundial em novos registros, seguida pelos EUA, juntamente com o crescimento em países como a Noruega e a Holanda, onde o *market share* desses veículos chega a 23% e 10%, respectivamente (FGV ENERGIA, 2017). Ainda mais, segundo a International Energy Agency (2016), estima-se que em 2020 o *market share* global dos veículos elétricos chegará até 1,7%, o que representa um aumento significativo comparado com os dados de 2017, onde, de acordo com FGV Energia (2017), os veículos elétricos ocupavam apenas 0,1% do estoque mundial.

No Brasil, tanto a presença quanto os incentivos para o consumidor de carros elétricos ainda são muito insignificantes quando comparados com outros países. Em adição, existe ainda o problema relacionado com a falta de estrutura para a recarga dos veículos elétricos, pois sem a presença de estações de recargas espalhados pelo território brasileiro, a utilização desses automóveis se torna pouco viável. Em países mais desenvolvidos, existem incentivos para a implementação dos postos de recarga facilitando a inserção desses automóveis no mercado. Com este contexto em mente, a fim de popularizar os veículos elétricos no Brasil, é necessário antes viabilizar a infraestrutura de postos de recarga. Para esse intuito, se fazem necessários estudos de viabilidade técnica e econômica comparando diversos fornecedores de estações de recarga.

O objetivo geral do presente trabalho é realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica envolvendo a utilização de diferentes modelos de estações de recargas para veículos elétricos no ambiente da Universidade Federal de Santa Maria. Este artigo está dividido em cinco seções. Inicialmente tem-se a revisão bibliográfica, seguida da seção dos procedimentos metodológicos. Depois são apresentados os resultados e as análises. Por último, tem-se a conclusão deste estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção foi dividida em três subseções: veículos elétricos; estações de recarga de veículos elétricos; Engenharia Econômica.

2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

De acordo com Calçado (2015), os veículos elétricos surgiram com o objetivo de ser uma alternativa aos impactos danosos ao meio ambiente devido à contaminação do ar e à emissão de ruídos causados pelos motores de combustão interna. Segundo Xiong et al. (2019), uma das funções dos veículos elétricos é conseguir obter um menor uso de energia, uma boa economia e uma forte praticidade, tudo isso ao mesmo tempo. Os veículos elétricos são uma proposta de otimização dos veículos convencionais, entretanto, envolvem os meios essenciais para a integração entre a Engenharia Elétrica e a Mecânica, tendo também uma participação das Engenharias Eletrônica, de Materiais e Química (CALÇADO, 2015).

Em relação ao seu funcionamento, basicamente o veículo elétrico faz uso da propulsão por meio de motores elétricos para transportar pessoas, objetos ou uma carga específica, sendo composto por um sistema primário de energia, uma ou mais máquinas elétricas e um sistema de acionamento e controle de velocidade (ORNELLAS, 2013). Juntamente com esses

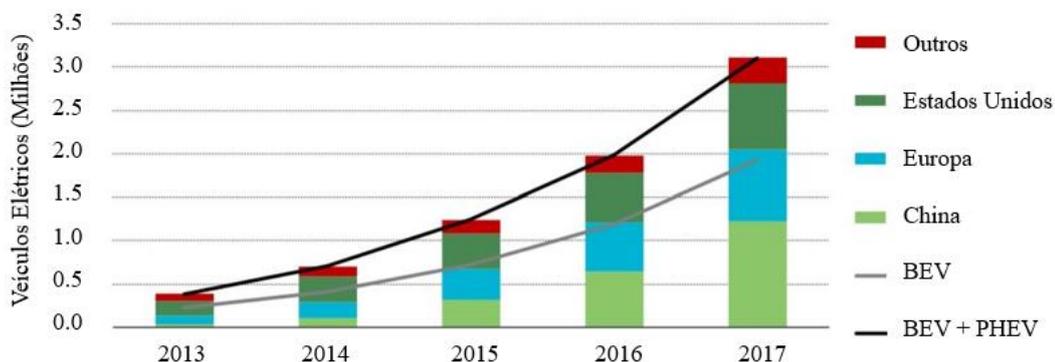
princípios, existem outros componentes exclusivos dos veículos elétricos, como a transmissão de velocidade única, o carregador embarcado e o sistema de frenagem regenerativa (SOUSA, 2015).

Muitas pessoas ainda não são familiarizadas com os veículos elétricos, sendo um dos motivos para isso o fato de muitas concessionárias ainda, exclusivamente, venderem apenas veículos convencionais (LANGBROEK et al. 2018). Além disso, principalmente no Brasil, ocorre a presença de barreiras financeiras e técnicas que devem ser superadas a fim de que os veículos elétricos adentrem o mercado nacional. Segundo Bravo, Meirelles e Giallonardo (2014), veículos elétricos surgem como uma alternativa tecnologicamente viável, mas acabam limitados com questões como preço e autonomia.

2.1.1 Estatísticas Envolvendo Veículos Elétricos

Conforme ocorrem avanços nas tecnologias relacionadas com os veículos elétricos como: maior autonomia, menores custos e mais incentivos para o consumidor, o mercado mundial para esses automóveis começa a crescer exponencialmente. Segundo a International Energy Agency (2018), o estoque global de veículos elétricos em 2017 atingiu um novo recorde, sendo vendidas 3,1 milhões de unidades, um aumento de crescimento em cerca de 57% quando comparado ao ano de 2016, como mostrado na Figura 1.

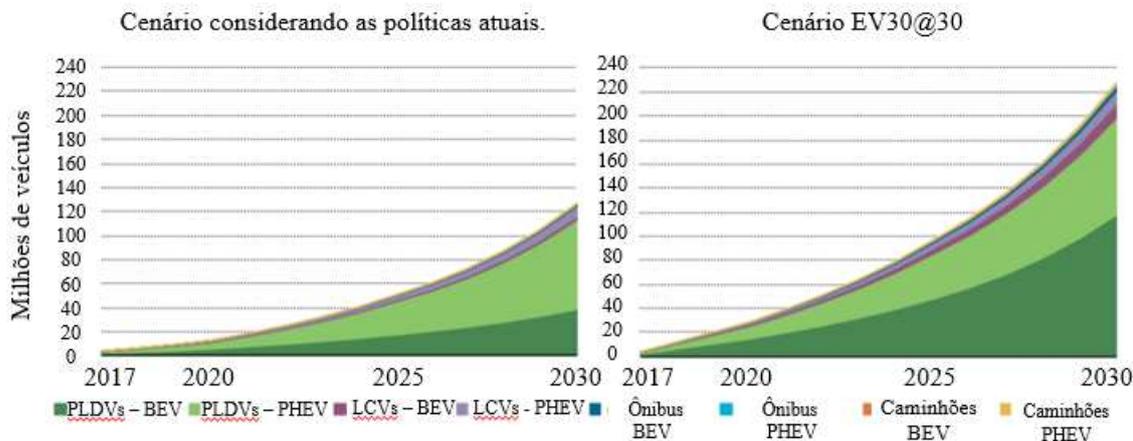
Figura 1 - Estoque global de veículos elétricos ao longo dos últimos anos



Fonte: adaptado de International Energy Agency (2018).

Cada vez mais com o aumento da preocupação das nações com o meio ambiente, tratados e acordos são assinados em busca de reduzir o dano ambiental do setor automobilístico. Com isso em mente, a tendência para o futuro é o aumento exponencial da participação dos veículos elétrico na frota. Segundo a International Energy Agency (2018), a projeção de veículos elétricos para 2020, considerando o cenário de políticas adotadas atualmente, é de 13 milhões de unidades, chegando em 2030 com cerca de 130 milhões de unidades. Entretanto, ainda segundo o autor, ao considerar o cenário EV30@30, o qual prevê um futuro de acordo com as ambições dos países envolvidos com a *Electric Vehicle Initiative* (EVI), essa estimativa chega em 228 milhões de veículos elétricos em 2030, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Estoque global de veículos elétricos em 2030



Fonte: adaptado International Energy Agency (2018).

No Brasil, apesar dos veículos elétricos comporem uma pequena parcela da frota automobilística, estímulos e incentivos começam a ser implementados a fim de aumentar a porcentagem de veículos elétricos no mercado. De acordo com a ANFRAVEA (2018), em 2017 o número de veículos elétricos no Brasil estava em torno de 3.296 mil unidades, representando um valor pequeno quando comparado com a totalidade da frota brasileira. Porém, esse número possui uma tendência de aumento. Segundo projeções realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (2017), apesar dos híbridos convencionais ainda representarem uma parcela pequena dos licenciamentos, os mesmos chegarão a 2,0% da frota de veículos ao final de 2030.

2.2 ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Segundo Gonzáles, Siavichay e Espinoza (2019), a principal função das estações de recarga para veículos elétricos (EVCS) é fornecer e controlar a energia que é transferida para a bateria do veículo. As estações de recarga tem uma participação crítica no desenvolvimento dos veículos elétricos, sendo no seu uso diário ou na sua interação com a rede elétrica (SBORDONE et al. 2014). Segundo Zhang et al. (2018), uma das principais barreiras para a disseminação do uso de veículos elétricos é a falta de infraestrutura de recarga pública. De acordo com Neiamneh et al. (2017), uma infraestrutura de recarga apropriada pode ser o aspecto necessário para a adoção em massa dos veículos elétricos.

Para Sbordone et al. (2014), uma estação de recarga deve possuir a função de carregar a bateria de um veículo elétrico rapidamente, detectar o estado da carga da bateria e se adaptar aos diferentes modelos de carros e baterias, em qualquer caso, o tempo de carregamento deve se adequar com as características da bateria do veículo a fim de garantir uma recarga ideal, prolongando a vida da bateria. A configuração de uma estação de recarga pode variar dependendo do país baseado em fatores como: frequência, voltagem, conexão da rede elétrica e padrões pré-estabelecidos, sendo que o principal parâmetro que influencia o tempo de recarga, o custo, o efeito na rede e o equipamento, é o nível de energia do carregador (SBORDONE et al. 2014).

Com o intuito de designar um sistema de infraestrutura que atenda as necessidades de diversos motoristas, é necessário implantar uma grande quantidade de EVCSs em diferentes localizações (ZHANG et al. 2015). Em adição, com a entrada dessa nova tecnologia, começam a surgir novos padrões de comportamento dos motoristas, o que acaba por se diferir do

comportamento atual de reabastecimento nos veículos de combustão interna, tornando difícil prever a demanda e realizar uma otimização dessa infraestrutura de recarga (WOLBERTUS et al. 2018).

2.2.1 Tipos de Estações de Recarga

Segundo Lokesh e Min (2017), o tempo de carregamento da bateria depende do tipo de estação de recarga que é utilizada e também da carga inicial presente na bateria. Com isso em mente, as estações de recarga podem ser separadas em grupos levando em conta os seus diferentes modos.

Segundo Gonzáles, Siavichay e Espinoza (2019), esta classificação tem como base os níveis de energia das estações de recarga juntamente com o tempo necessária para efetua-la, o que define as três categorias em:

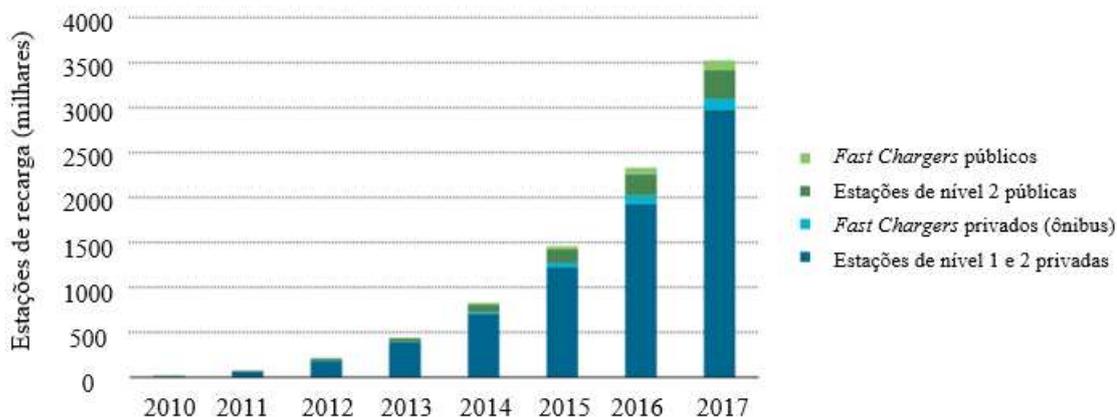
- Nível 1: esse nível é utilizado em residências com uma voltagem de até 120 volts e capacidade energética de 3,7 kW. Nesse tipo de estação o carregamento do veículo elétrico demora um tempo elevado, podendo estar entre 6 a 24 horas. A conversão de energia deve ser feito pelo conversor do veículo elétrico.
- Nível 2: possui uma voltagem entre 208 e 240 volts, capacidade de 3,7 kW até 22 kW e uma corrente que pode chegar a 32 A. O tempo de carregamento pode ser menor que 6 horas dependendo do *status* atual do veículo. A conversão elétrica também deve ser feita pelo conversor do veículo elétrico.
- Nível 3: nessa categoria estão os chamados *fast chargers* ou recarga rápida, sendo a faixa de energia máxima que este tipo de estação de recarga consegue suportar é de 50 kW até 240 kW com uma corrente elétrica chegando em até 400 A. Nesse nível as estações de recarga são responsáveis por fazer a conversão entre corrente alternada e corrente direta, onde a voltagem chega a até 600 V e é resultante da corrente direta.

Em relação ao tempo específico de recarga, cada veículo elétrico será diferente, pois dependem diretamente da capacidade de sua bateria. De acordo com Pelletier, Jabali e Laporte (2014), leva-se em conta também que o tempo anunciado para o carregamento geralmente é apenas considerando 80% da capacidade da bateria, isso ocorre porque a recarga não é linear durante todo o processo de carregamento. Segundo Bruglieri e Colorni (2014), a primeira fase praticamente carrega toda a bateria linearmente, a segunda fase não é linear e pode levar algumas horas para obter a carga completa da bateria e garantir uma recarga uniforme de todas as células que a compõem.

2.2.2 Estatísticas Envolvendo Estações de Recarga

Atualmente, seguido do crescimento dos veículos elétricos no mercado internacional, as estações de recarga começam a ficar cada vez mais populares, tanto os modelos particulares quanto os modelos públicos. Entretanto, ainda é possível perceber que a infraestrutura pública para recarga se apresenta bem atrasada em relação à privada, porém é inegável seu crescimento ao longo dos anos, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Crescimento da infraestrutura de recarga ao longo dos anos



Fonte: adaptado de International Energy Agency (2018).

A China, para o ano de 2020, busca atingir 500.000 carregadores públicos e 4,3 milhões de carregadores particulares (XIAOWEN, 2018). Já a Califórnia revisou sua meta de implantação de infraestrutura para 2025, juntamente com sua meta para 2030 de 5 milhões de veículos elétricos, propondo investir US\$ 900 milhões para implantar 250.000 pontos de recarga até 2025, dos quais cerca de 10 mil pontos devem ser carregadores rápidos (ELECTRIFY AMERICA, 2018). A União Europeia, por outro lado, se encontra subdesenvolvida nesse setor, buscando em até 2020, ter aproximadamente uma estação de recarga a cada dez veículos elétricos (PLATFORM FOR ELECTROMOBILITY, 2018).

No Brasil, têm sido instaladas diferentes estações de recargas para veículos elétricos junto com eletrovias interestaduais em busca de incentivar a utilização dessa nova tecnologia. Segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2018), a ligação entre São Paulo e Rio de Janeiro é considerada a primeira eletrovia interestadual do Brasil e possui em sua totalidade 434 km de distância com um intervalo de 100 km entre cada eletroposto, de forma que as estações de recarga conseguem carregar 80% da bateria de qualquer tipo de veículo elétrico comercializado no Brasil em um intervalo de tempo entre 20 e 30 minutos. Segundo Oliveira (2018), a BR-277 no Brasil, que liga Paranaguá a Foz Iguaçu, conta com pontos de recarga para carros elétricos no trajeto, sendo oito eletropostos distribuídos pela rodovia.

2.3 ENGENHARIA ECONÔMICA

A Engenharia Econômica é definida, segundo Grant e Ireson (1982 apud HESS et al. 1992), como o estudo que compreende os princípios e técnicas necessárias para se tomar decisões relativas a aquisição e a disposição de bens de capital, na indústria e nos órgãos governamentais. É possível também ir além da definição acima, como mostra Hess et al. (1992), ao acrescentar que a Engenharia Econômica é o conjunto de conhecimentos necessários para a tomada de decisão sobre os investimentos.

Assim, segundo Hess et al. (1992), um estudo de Engenharia Econômica envolve definição do problema, a determinação das alternativas tecnicamente viáveis, a determinação e a avaliação quantitativa das diferenças futuras, a manipulação dos diagramas e a aplicação dos critérios de decisão para a obtenção da alternativa mais econômica e a avaliação qualitativa das alternativas incluindo fatores imponderáveis. Mediante a isso, a Engenharia Econômica está no âmago do processo de tomada de decisões e afeta diretamente o que irá ocorrer com os diversos projetos criados (BLANK; TARQUIN, 2008).

Um dos métodos de cálculo na Engenharia Econômica é o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE). Para determinar o CAUE em um determinado período, basta trazer o fluxo de caixa projetado ao valor presente, descontado à Taxa Mínima de Atratividade, e transformá-lo em uma série uniforme de pagamentos, a qual representa o custo que incide em cada período considerando o investimento no equipamento e as demais despesas e custos relacionados (SILVA et al. 2012). Hess et al. (1992) ressalta que, por ser de mais fácil interpretação, o método CAUE pode ser frequentemente utilizado com ampla vantagem sobre os demais, tanto em comparação de custos, quanto de receitas. A Equação 1, retirada de Hirschfeld (1979), é utilizada para calcular o CAUE.

$$CAUE = [A_P - A_F] + \sum_1^m A_i \quad (1)$$

Onde: CAUE é o custo anual uniforme [R\$], P é o custo do equipamento [R\$], A_P são as anuidades equivalentes provindas do custo de equipamento P considerado aplicado à taxa de $i\%$, A_F são as anuidades equivalentes provindas da Receita do Valor Residual F consideradas e aplicadas à taxa de $i\%$, $\sum_1^m A_i$ é a somatória de outros m eventuais custos uniformes equivalentes anuais provindos de mão de obra, despesas de energia, manutenção de equipamentos, etc.

Com estes conceitos definidos, segue-se agora para a seção de procedimentos metodológicos, que informa quais dados foram coletados e como as análises foram realizadas no processo de pesquisa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de obter os resultados da pesquisa foram utilizados os seguintes parâmetros para a análise da viabilidade econômica: despesas com energia elétrica, investimentos com o equipamento, despesas com a instalação, despesas com a manutenção, depreciação do equipamento, Taxa Mínima de Atratividade e correção monetária.

Para obter os valores dos investimentos nos equipamentos, realizou-se uma consulta com cada um dos cinco fabricantes escolhidos propositalmente para este estudo. A despesa com a instalação e a despesa com a manutenção foram obtidas a partir de estimativas contidas na bibliografia consultada. Para a depreciação, escolheu-se o valor padrão de vida útil determinado para equipamentos elétricos, utilizando o método linear para determinar o valor da depreciação ao longo deste tempo.

Para determinar a Taxa Mínima de Atratividade, analisou-se o rendimento médio anual da poupança nos últimos cinco anos. De forma semelhante, para a inflação, analisaram-se os dados da taxa média anual nos últimos dez anos fazendo o uso da Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019). Para a correção monetária utilizou-se o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A), calculado pelo IBGE. Por fim, o custo tarifário foi obtido com base nas tarifas fornecidas pela UFSM, onde foi determinado o valor da energia elétrica para os diferentes tipos de horários. Junto a isto, a tarifa da energia elétrica foi corrigida pelo reajuste médio dos últimos 8 anos.

Com o objetivo de realizar uma análise técnica e econômica mais ampla, consideraram-se diferentes cenários onde os modelos de estações de recarga foram comparados entre si. Neste contexto, foram utilizados três parâmetros para modelar 60 cenários. Os cenários foram obtidos combinando a relação entre as quatro bandeiras tarifárias (verde, amarela, vermelha patamar 1

e vermelha patamar 2), a variação no horário de funcionamento do estacionamento (manhã, tarde e integral) e os modelos de estações de recarga fornecidos pelos fabricantes.

Após a obtenção de todas as informações necessárias para a análise de viabilidade técnica e econômica, iniciou-se a aplicação de um dos métodos de cálculo da Engenharia Econômica, o método do Custo Anual Uniforme Equivalente. Junto a isto, foi realizada a determinação do R\$/kWh consumido para os modelos. Para os cálculos fez-se uso do *software* Microsoft Excel. Por fim, os dados obtidos foram organizados e analisados. Na próxima seção são apresentados os resultados e as análises decorrentes do processo de pesquisa desenvolvido neste trabalho.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A presente seção tem como intuito mostrar os dados obtidos para esta pesquisa, juntamente com os resultados e as análises. Dentre os dados coletados estão: o preço da tarifa de energia elétrica, os dados técnicos para os modelos estudados, a correção monetária e a TMA, juntamente com os dados econômicos, tais como: despesa com o investimento no equipamento, despesas de instalação, despesas de manutenção, despesas com energia elétrica e a depreciação do equipamento. Após é realizado o cálculo do CAUE dos equipamentos e determinado o R\$/kWh dos mesmos.

4.1 DADOS TÉCNICOS SOBRE AS ESTAÇÕES DE RECARGA

Com o intuito de comparar neste trabalho diferentes estações de recarga, se buscou informações técnicas que auxiliam a determinar qual a opção mais adequada para cada aplicação. Estes dados técnicos são utilizados para diferenciar cada uma das estações de recarga e também para que o cliente possa escolher o produto que melhor se adequa no seu projeto. Assim, no Quadro 1 se encontram dados técnicos de cada um dos cinco modelos selecionados nesta pesquisa.

Quadro 1 - Dados técnicos dos modelos de Nível 2

Modelos Nível 2	Potência (kW)	Conectores	Corrente (A)	Voltagem (V)
	AC	AC	AC	AC
EVLunics Basic+	22	SAE J1772 e Mennekes	32	240
ChargePoint CT4025	7,2	SAE J1772	30	240
Evlink Parking	22	Mennekes	32	230 a 400
BOSCH EV800	7,2	SAE J1772	12 a 32	95 a 264
POWERCHARGE P30DPN	9,6	SAE J1772	16 a 40	208 a 240

Fonte: autores.

Outro fator que influencia a escolha das estações de recarga para um estacionamento é o perfil dos motoristas que são atendidos. O perfil dos motoristas tem uma influência direta no tempo de utilização da estação de recarga pelo veículo elétrico. Neste contexto, devido ao ambiente de estudo ser uma universidade, existem diferentes perfis coexistindo. Assim, optou-se por dividir o horário do estacionamento em três situações: turno da manhã, turno da tarde e turno integral. Esta distribuição é mostrada no Quadro 2.

Quadro 2 - Distribuição dos turnos do estacionamento

Turnos	Horário de Funcionamento	Total de Horas
Manhã	6h30min até 12h30min	6 horas
Tarde	12h30 min até 18h30min	6 horas
Integral	6h30min até 20h30min	14 horas

Fonte: autores.

Desta forma, o estacionamento pode se adequar a diferentes motoristas que frequentam a universidade.

4.2 DADOS ECONÔMICOS SOBRE AS ESTAÇÕES DE RECARGA

Para encontrar os dados econômicos que serão utilizados na determinação do CAUE dos equipamentos, foi realizada uma consultada com cada um dos fabricantes das estações de recarga. Depois de realizado o contato com os fabricantes dos modelos selecionados neste trabalho, é possível elencar todas as despesas relacionadas as mesmas, como mostra a Tabela 1 e a Tabela 2.

Tabela 1 - Custos dos equipamentos adicionados os impostos e as despesas de instalação

Fabricante	Modelo	Custo do Equipamento	Custo de Instalação
ABB	EVLunics Basic+	R\$ 28.080,00	R\$ 45.078,11
ChargePoint	ChargePoint CT4025	R\$ 47.421,90	R\$ 27.046,86
Evlink	Evlink Parking	R\$ 35.218,81	R\$ 45.078,11
Bosch	BOSCH EV800	R\$ 25.915,80	R\$ 27.046,86
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	R\$ 35.386,92	R\$ 27.046,86

Fonte: autores.

Tabela 2 - Custos de manutenção e a depreciação anual dos modelos

Fabricante	Modelo	Custo de Manutenção	Depreciação anual
ABB	EVLunics Basic+	R\$ 7.315,81	R\$ 2.400,00
ChargePoint	ChargePoint CT4025	R\$ 7.446,88	R\$ 3.095,31
Evlink	Evlink Parking	R\$ 8.029,69	R\$ 3.010,16
Bosch	BOSCH EV800	R\$ 5.296,27	R\$ 1.707,15
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	R\$ 6.243,38	R\$ 2.331,04

Fonte: autores.

Com a obtenção dos dados para cada modelo, parte-se para o estudo da viabilidade econômica onde será obtido o Custo Anual Uniforme Equivalente e realizada uma comparação entre os modelos a fim de definir o investimento mais adequado para a UFSM.

4.3 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

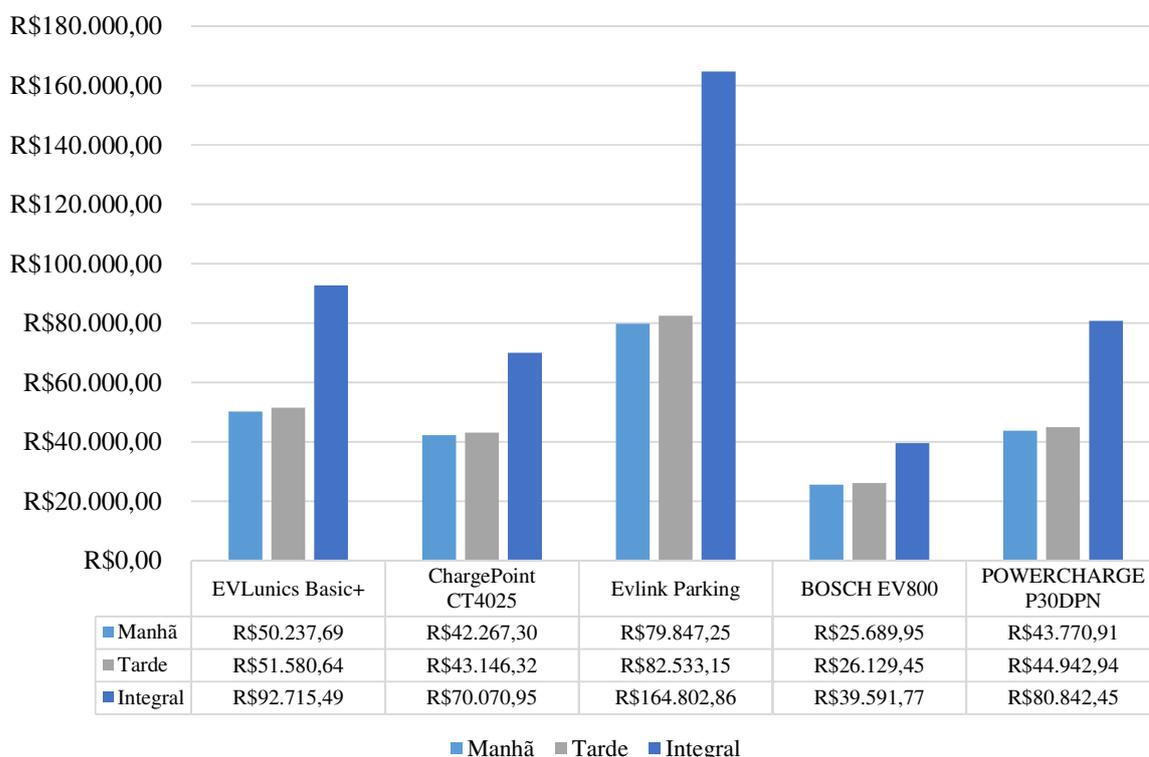
O estudo de viabilidade econômica inicia-se na obtenção dos dados referentes aos modelos de estações de recarga, seguido da organização dos mesmos de acordo com os cenários definidos. Os cálculos são baseados nas equações do método CAUE, o qual é o mais adequado

para a finalidade deste trabalho. Para a aplicação do método foram desenvolvidos fluxos de caixa para cada um dos 60 cenários, definidos previamente neste artigo na seção dos procedimentos metodológicos. Os resultados obtidos foram analisados em conjunto, de modo a comparar cada modelo de estação de recarga. Para isto, os resultados são divididos com base nas bandeiras tarifárias vigentes, facilitando a comparação entre os modelos estudados em uma mesma realidade tarifária.

Percebe-se que não ocorre necessidade de mostrar os resultados relacionadas a bandeira tarifária amarela e a bandeira tarifária vermelha patamar 1. Isto acontece pelo fato de não ocorrer mudanças significativas nos valores obtidos no CAUE para estas bandeiras que se encontram em uma posição intermediária aos resultados mostrados na sequência. Desta forma, ao apresentar os resultados da bandeira tarifária verde e da bandeira tarifária vermelha patamar 2 tem-se os resultados para as condições ideias, onde o CAUE é mínimo e máximo respectivamente.

Para obter o R\$/kWh consumido, realizou-se a divisão entre o CAUE dos equipamentos pela energia elétrica anual consumida. Devido os valores obtidos não apresentarem uma diferença significativa e apresentarem um crescimento uniforme para cada bandeira, opta-se mais uma vez por apenas mostrar os resultados relacionados à bandeira tarifária verde e a bandeira tarifária vermelha patamar 2. Com isto, na Figura 4, tem-se o gráfico dos resultados do CAUE para os modelos, utilizando a bandeira tarifária verde.

Figura 4 - Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira verde)



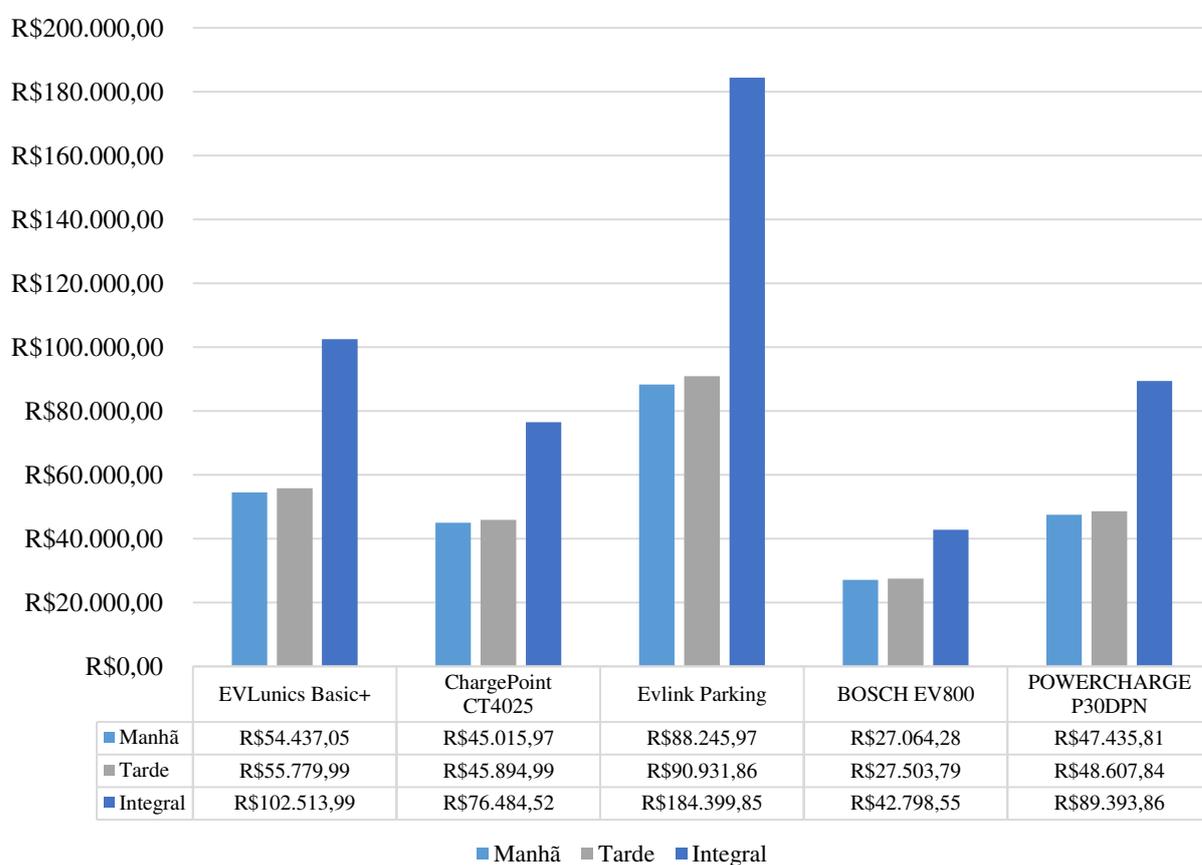
Fonte: autores.

No gráfico é possível observar que a estação de recarga *Evlink Parking* possui o maior CAUE entre os modelos de nível 2, chegando a um valor máximo de R\$ 164.802,86 para o horário de funcionamento Integral. Isto acontece devido ao modelo possuir uma potência de 22 kW e a possibilidade de carregar dois carros ao mesmo tempo, o que acarreta um aumento no

consumo de energia elétrica. Em comparação, o modelo *EVLunics Basic +*, também possui uma potência de 22 kW, porém conta com a possibilidade de carregar um veículo elétrico por vez, acarretando em uma diminuição no consumo de energia elétrica, chegando a obter um valor máximo de R\$ 92.715,49.

Os outros equipamentos analisados variam sua potência entre 7,2 kW até 9,6 kW, resultando em uma diminuição no CAUE destes modelos. Com isto, o modelo BOSCH EV800, apresenta o menor custo de todos os modelos nível 2, devido ao fato de ter 7,2 kW de potência e apenas carregar um veículo por vez. Ao levar em consideração dados como a potência, quantidade de veículos recarregados simultaneamente e o CAUE obtido, pode-se verificar que o modelo *POWERCHARGE P30DPN* é a alternativa mais viável entre os equipamentos analisados, tendo a possibilidade de recarregar dois veículos ao mesmo tempo a uma potência de 9,6 kW, com um CAUE máximo de R\$ 80.842,45. A Figura 5 traz a comparação entre os modelos de nível 2 com a bandeira tarifária vermelha patamar 2.

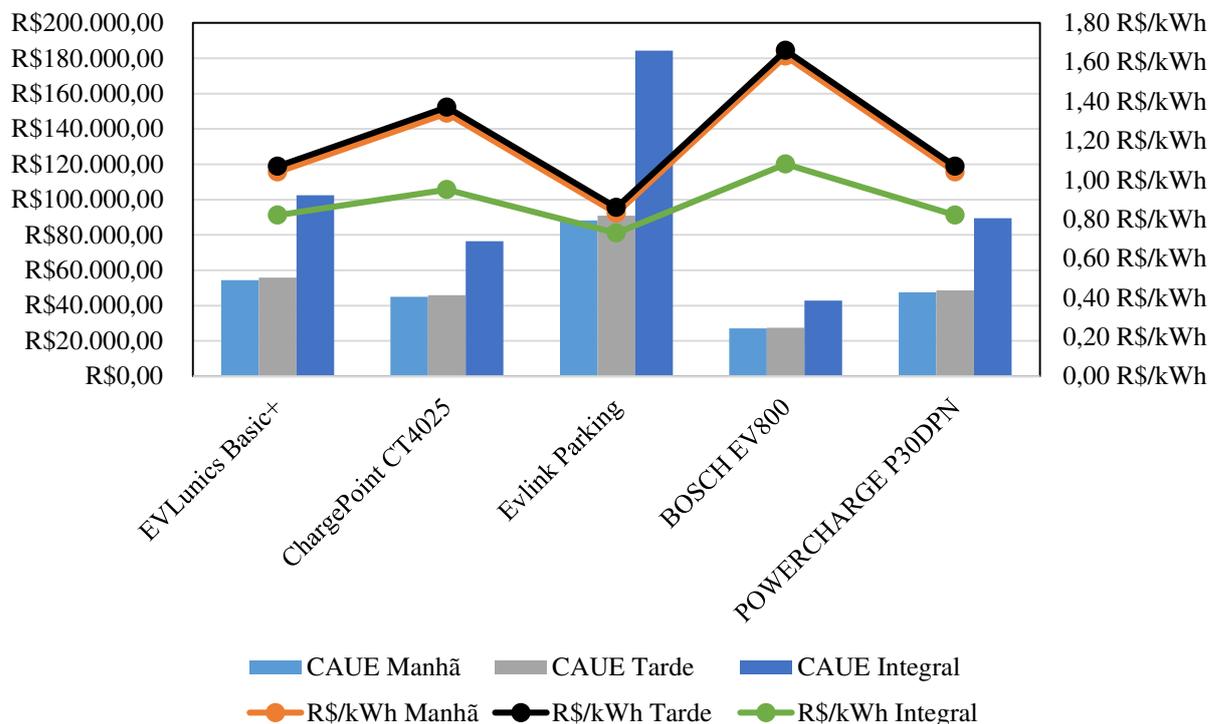
Figura 5 - Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira vermelha patamar 2)



Fonte: autores.

Além da comparação do CAUE entre os equipamentos, também foi realizada a comparação entre o valor obtido para o R\$/kWh consumido dos modelos. Com esta comparação, obtém-se os valores máximos e mínimos para o R\$/kWh consumido relacionando o CAUE obtido com a energia anual consumida dos equipamentos. Os equipamentos foram avaliados nos cenários com a bandeira tarifária verde e com a bandeira tarifária vermelha patamar 2. Na Figura 6, estão os valores relacionados à bandeira tarifária verde.

Figura 6 - R\$/kWh consumido dos modelos para a bandeira verde



Fonte: autores.

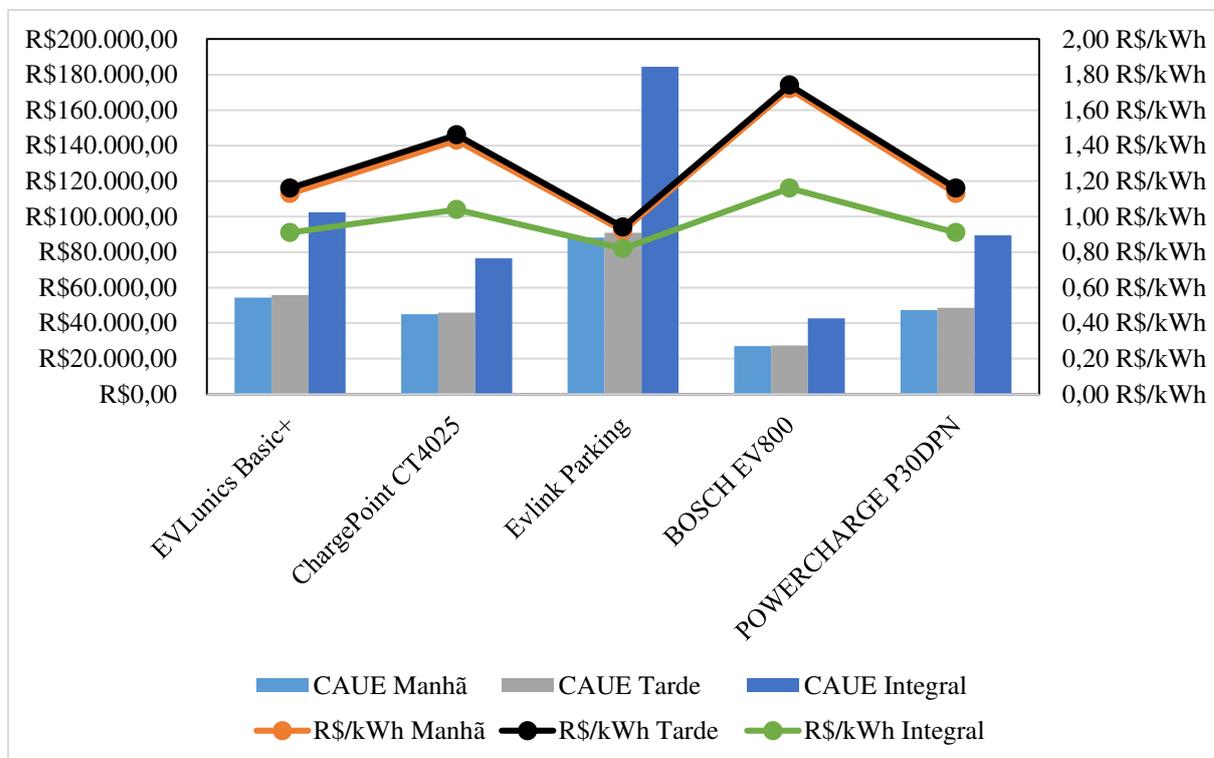
Pela análise do gráfico, percebe-se que nos cenários da Manhã e da Tarde, o valor do R\$/kWh consumido é praticamente o mesmo para os modelos, devido ao fato das duas situações apresentarem horários de funcionamentos iguais. Porém, no horário da Tarde, ocorre um pequeno acréscimo do custo em consequência de sua participação na categoria tarifária de Ponta, obtendo um maior custo com a energia elétrica consumida. Além disso, o horário Integral é onde os equipamentos apresentam o menor R\$/kWh consumido, implicando assim que, quanto maior o tempo em que a estação de recarga estiver funcionamento, menor será o R\$/kWh. Logo, observa-se que, conforme o CAUE dos equipamentos aumenta, o valor do R\$/kWh consumido diminui. Essa relação ocorre devido ao aumento da energia consumida pela estação, o qual é resultante da mudança dos horários de funcionamento do estacionamento. Do mesmo modo, ao alterar os horários, o CAUE também sofre um aumento no seu valor. Entretanto, o aumento da energia consumida acaba sendo muito maior que o aumento do CAUE, resultando em uma diminuição na razão R\$/kWh.

Neste contexto, os modelos que apresentam o menor R\$/kWh, ou seja, o menor custo por energia consumida, são o *Evlink Parking*, que chega a ter a um valor mínimo de 0,73 R\$/kWh para o horário Integral. Do mesmo modo, os modelos que possuem o maior R\$/kWh consumido são o *BOSCH EV800*, com 1,08 R\$/kWh para o horário Integral, e o *ChargePoint CT4025*, com o valor máximo de 0,95 R\$/kWh. Na Figura 7, estão presentes os resultados para a bandeira tarifária vermelha patamar 2.

Como esperado, os equipamentos com os valores máximos e mínimos para o R\$/kWh consumido se mantêm os mesmos da bandeira verde, porém, ocorre um aumento geral no valor do R\$/kWh para todas as estações de recarga, resultado da troca de bandeira. Este aumento é originado devido aos consumos de energia elétrica anual dos equipamentos continuarem os mesmos independente da bandeira tarifária selecionada, enquanto ocorre um acréscimo no valor

do CAUE dos modelos devido ao custo de R\$ 0,06 por kWh consumido, o que ocasiona um aumento no valor da razão entre os parâmetros.

Figura 7 - R\$/kWh consumido dos modelos para a bandeira vermelha patamar 2



Fonte: autores.

É válido ressaltar que, para este tipo de investimento, não se deve considerar apenas o CAUE dos modelos. Como exemplo, o modelo BOSCH EV800, que possui o menor CAUE entre todas as estações de recarga, acaba apresentando o maior valor para o R\$/kWh consumido, refletindo assim suas características técnicas inferiores aos dos outros modelos. Por outro lado, modelos como o *Evlink Parking*, apesar de apresentarem o maior CAUE dentre os equipamentos, considerando seus respectivos níveis, possuem o menor valor para o R\$/kWh consumido, refletindo assim, uma capacidade técnica superior aos outros modelos.

5 CONCLUSÃO

O atual trabalho de pesquisa teve como objetivo geral realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica envolvendo a utilização de diferentes modelos de estações de recargas para veículos elétricos no ambiente da UFSM. O dimensionamento do sistema teve como base o estacionamento localizado no Centro de Tecnologia. Assim, 60 cenários foram modelados, envolvendo 5 diferentes modelos de estações de recarga, as quatro bandeiras tarifárias vigentes e três diferentes horários de funcionamento do estacionamento. Para realizar a análise econômica, utilizou-se o método do CAUE juntamente com a determinação do valor do R\$/kWh referente a energia consumida pelos modelos.

Do ponto de vista técnico, levando em consideração o ambiente analisado, o estacionamento foi dimensionado para receber apenas uma estação de recarga para veículos elétricos. Desta forma, informações técnicas referentes aos diferentes modelos estudados foram obtidas. Depois realizou-se uma comparação entre os equipamentos, determinando assim, sua

viabilidade técnica. Com isso, as informações técnicas foram inseridas nos resultados da análise de viabilidade econômica pela grande influência que possuem no custo destes equipamentos. De todo modo, todas as estações de recarga analisadas, do ponto de vista técnico, são viáveis para a utilização no estacionamento do Centro de Tecnologia da UFSM.

A partir dos resultados obtidos com a Engenharia Econômica nos cenários modelados, observa-se que o CAUE mais elevado encontrado é relativo ao modelo *Evlink Parking*, o qual chega a um valor de R\$ 184.399,85, considerando o horário Integral. Entretanto, ao levar em conta os diferentes horários de funcionamento do estacionamento, o modelo *Evlink Parking* continua apresentando o maior CAUE tanto para o horário da Manhã, quanto para o da Tarde. Em relação aos menores valores para o CAUE obtidos, o modelo BOSCH EV800 apresentou um valor de R\$ 25.689,95 para o turno da Manhã, R\$ 26.129,45 para o turno da Tarde e um valor de R\$ 39.591,77 para o turno Integral.

O modelo que obteve o menor valor para o R\$/kWh consumido foi o *Evlink Parking*, com o valor mínimo de R\$/kWh 0,83 para o turno da Manhã, R\$/kWh 0,86 para o turno da Tarde e R\$/kWh 0,73 para o turno Integral. Já o modelo que obteve o maior valor para o R\$/kWh consumido foi o BOSCH EV800, com o valor de R\$/kWh 1,72 para o turno da Manhã, R\$/kWh 1,74 para o turno da Tarde e R\$/kWh 1,16 para o turno Integral.

Baseado nestas informações, chega-se à conclusão que, para a aplicação proposta neste trabalho, o modelo mais viável é o modelo *POWERCHARGE P30DPN*, devido à sua combinação de fatores técnicos compatíveis com o ambiente em que será aplicado, juntamente com um valor de CAUE e de R\$/kWh consumido intermediário. Analisando os resultados, percebe-se que os equipamentos que possuem uma maior potência e carregam um maior número de veículos simultaneamente, possuem um valor de CAUE elevado, consequência do maior consumo de energia elétrica. Por outro lado, estes equipamentos tendem a ter um valor para o R\$/kWh consumido menor, ressaltando assim, uma superioridade técnica. Além da influência destes fatores técnicos, percebe-se que à medida que o horário de funcionamento do estacionamento aumenta, o valor do CAUE tem um crescimento proporcional, enquanto o valor do R\$/kWh consumido sofre um decréscimo.

Como sugestão para futuros trabalhos, pode-se realizar um estudo de forma a elencar os perfis de motoristas presentes na UFSM, com a finalidade de determinar qual é o tipo de estação de recarga mais adequado para o estacionamento. Além disto, é possível também realizar um estudo de viabilidade econômica com estes modelos, considerando um ambiente com o objetivo de gerar lucro, de forma a obter um preço de recarga e, baseado neste valor, aplicar métodos como o Valor Presente Líquido, o *Payback* e a Taxa Interno de Retorno, determinando assim a viabilidade do investimento. De modo semelhante, pode-se fazer uso das informações obtidas para o R\$/kWh consumido dos modelos tratados neste estudo, realizando uma comparação entre a autonomia de um veículo elétrico e um veículo de combustão interna, de forma a obter uma comparação relativa à viabilidade econômica entre estas duas tecnologias.

Por fim, chega-se à conclusão de que o trabalho cumpriu com o objetivo que foi inicialmente proposto, sendo desenvolvida uma análise de viabilidade técnica e econômica envolvendo diferentes modelos de estações de recarga.

REFERÊNCIAS

ABVE. Associação Brasileira de Veículos Elétricos. **Governo anuncia ROTA 30 e corta IPI para elétricos**. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/governo-anuncia-rota-2030-e-corta-ipi-para-eletricos/>>. Acesso em 10 de março de 2019.

ANFRAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Publicação mensal da associação nacional dos fabricantes de veículos automotores 380**. São Paulo, 2018. 11 p.

BCB. Banco Central do Brasil. **Calculadora do Cidadão**. Brasil, 2019. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=xibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 25 de maio de 2019.

BLANK, L. T.; TARQUIN, A. **Engineering economy**. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2008. SILVA, E. L.; MENEZES, E. M.; **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª ed. Florianópolis: UFSC, 2005

BRAVO, M.; MEIRELLES, P.; GIALONARDO, W. Análise dos desafios para a difusão dos veículos elétricos e híbridos no Brasil. **XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva**, v. 1, p. 1-22, 2014.

BRUGLIERI, M.; COLORNI, A. The Relocation Problem for the One-Way Electric Vehicle Sharing. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v.111, p. 18-27, 2014.

Calçado, T. E. O. **Estudo preliminar de implantação de estações de recarga de veículos elétricos no Centro de Tecnologia da UFRJ**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Electrify America. **Our Investment Plan**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <<https://www.electrifyamerica.com/our-plan>>. Acesso em 15 de abril de 2019

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional**. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vf.pdf>>. Acesso em 02 de março de 2019.

FGV ENERGIA. **Carros elétricos**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.fgv.br/fgvenergia/caderno-carros-eletricos/files/assets/basic-html/page-1.html#>>. Acesse em: 23 de março de 2019.

GONZÁLEZ, L.; SIAVICHAY, E.; ESPINOZA, J. Impact of EV fast charging stations on the power distribution network of a Latin American intermediate city. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 309-318, 2019.

HESS, G et al. **Engenharia Econômica**. 21. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica**. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 1979.

IEA. Agência Internacional de Energia. **Global Ev Outlook 2016**. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2016.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2019.

IEA. Agência Internacional de Energia. **Global Ev Outlook 2018**. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/1045?filename=global_ev_outlook_2018.pdf>. Acesso em 10 mar. 2019.

LANGBROEK, J et al. Electric vehicle rental and electric vehicle adoption. **Research in Transportation Economics**, v. 70, p. 1-11, 2018.

LOKESH, B.; MIN, J. A Framework for Electric Vehicle (EV) Charging in Singapore. **Energy Procedia**, v. 143, p. 15-20, 2017.

NEAIMEH, M et al. Analysing the usage and evidencing the importance of fast chargers for the adoption of battery electric Vehicles. **Energy Policy**, v.108, p. 474-486, 2017.

ORNELAS, R. Impactos do consumo colaborativo de veículos elétricos na cidade de São Paulo. **Future Studies Research Journal**, v.5, p. 33 – 62, 2013.

PLATFORM ELECTROMOBILITY. **How EU Member States roll-out electric-mobility: Electric Charging Infrastructure in 2020 and beyond, 2018**. Bélgica, 2018. 9 p.

PELLETIER, S.; JABALI, O.; LAPORTE, G. Battery electric vehicles for good distribution: A survey of vehicle technology, market penetration, incentives and practices. **CIRRELT**, v.1, p. 1-36, 2014

SBORDONE, D et al. EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm. **Electric Power Systems Research**, v. 120, p. 95-108, 2015.

SOUSA, M. **Veículos elétricos: a rede de inovação da pesquisa e desenvolvimento do Brasil**. 2015, 89 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Gestão de Empresas) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015.

WOLBERTUS, R et al. Fully charged: An empirical study into the factors that influence connection times at EV-charging stations. **Energy Policy**, v. 123, p. 1-7, 2018.

XIAOWEN, Y. The EV and charging infrastructure deployment in China. **APEC Electromobility Workshop**, v.1, p. 1-25, 2018.

XIONG, H et al. An energy matching method for battery electric vehicle and hydrogen fuel cell vehicle based on source energy consumption rate. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, p. 7737-7888, 2019.

ZHANG, Q et al. Factors influencing the economics of public charging infrastructures for EV: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 500-509, 2018.

ZHANG, X. The design of electric vehicle charging. **The School of Computational Science and Engineering**, v.1, p. 1-51, 2015.