

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO BARBOSA MUNIZ

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA NO CAMPUS VIÇOSA DA UFV**

VIÇOSA

2019

BRUNO BARBOSA MUNIZ

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA NO CAMPUS VIÇOSA DA UFV

Proposta de projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito na disciplina de Projeto de Engenharia II.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos

VIÇOSA

2019

**BRUNO BARBOSA MUNIZ**

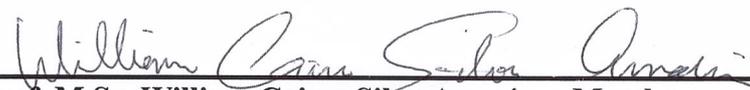
**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA NO CAMPUS VIÇOSA DA UFV**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 17 de dezembro de 2019.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos - Orientador**  
**Universidade Federal de Viçosa**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. M.Sc. William Caires Silva Amorim - Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

  
\_\_\_\_\_  
**B. Sc. Heitor Sampaio Guimarães - Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

# Agradecimentos

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por estarem sempre presentes em minha vida, me guiando e me dando força para superar os obstáculos.

Aos meus pais Ronaldo e Bernadeth, por todo companheirismo e amor por mim durante essa caminhada. Agradeço também aos meus avós, minha irmã, minha tia e minha namorada pelo apoio, e demonstração de afeto em todos os momentos.

Ao orientador José Carlos, pelos ensinamentos durante a graduação e pela confiança no desenvolvimento do projeto. Agradeço também a todos os professores e profissionais que tive durante a

Ao meu coorientador Heitor, pela orientação nesse e em muitos projetos, pelos diversos ensinamentos e por estar sempre disposto a me ajudar e me proporcionar oportunidades de aprendizado e crescimento.

Aos meus amigos, por todo companheirismo e por terem compartilhado momentos inesquecíveis durante essa caminhada.

—

*“A persistência é o caminho do êxito..”*  
*(Charles Chaplin)*

# Resumo

A urgente necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa juntamente com a crescente preocupação de segurança energética com a variação do preço do petróleo, impulsionou a pesquisa de alternativas ao veículo de motor a combustão interna. Uma das soluções mais promissoras e que está em constante crescimento no mundo é a utilização dos veículos elétricos e a geração de energia solar fotovoltaica. A combinação dessas duas tecnologias pode gerar ótimos benefícios para o meio ambiente e o desenvolvimento do país, entretanto, ainda permanecem dúvidas quanto à viabilidade econômica e técnica da utilização dos veículos elétricos. Este artigo apresenta os resultados de um estudo sobre o impacto da implantação de veículos elétricos na frota da vigilância da Universidade Federal de Viçosa e a compensação do consumo na geração de energia elétrica solar fotovoltaica; analisando as características técnicas, de infraestrutura e viabilidade econômica do projeto.

**Palavras-chaves:** Veículo Elétrico, Energia solar fotovoltaica, Viabilidade econômica, Análise técnica.

# Abstract

The urgent need to reduce greenhouse gas emissions coupled with growing energy security concerns with changing oil prices has spurred research into alternatives to the internal combustion engine vehicle. One of the most promising solutions that is constantly growing in the world is the use of electric vehicles and the generation of photovoltaic solar energy. The combination of these two technologies can generate inestimable benefits for the environment and the country's development, however, there remain doubts about the economic and technical feasibility of the use of electric vehicles. This paper presents the results of a study on the impact of the electric vehicle deployment on the surveillance fleet of the Federal University of Viçosa and the compensation of consumption in the generation of photovoltaic solar electric energy; analyzing the technical characteristics, infrastructure and economic viability of the project.

**Key-words:** Electric Vehicle, Photovoltaic solar energy, Economic viability, Technical analysis.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Composição setorial do consumo de derivados de petróleo . . . . .	11
Figura 2 – Emissões na produção de energia elétrica . . . . .	12
Figura 3 – Veículo elétrico puro da BMW, modelo i3. . . . .	16
Figura 4 – Veículo elétrico puro da Renault, modelo Zoe . . . . .	17
Figura 5 – Pontos de recarga para os VE's no campus da UFV. . . . .	18
Figura 6 – Modelo 3D do local da instalação dos painéis solares fotovoltaicos . . .	20
Figura 7 – Placa de silício policristalino adotada no estudo . . . . .	20
Figura 8 – Carta solar do local da instalação dos painéis solares fotovoltaicos . . .	24
Figura 9 – Variação do preço da gasolina . . . . .	25
Figura 10 – Variação da tarifa de energia elétrica . . . . .	26

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Mapa de controle dos veículos em 2019 . . . . .	16
Tabela 2 – Resumo das especificações técnicas do Renault Zoe . . . . .	19
Tabela 3 – Comparativo econômico VW Gol x Renault Zoe . . . . .	23
Tabela 4 – Comparativo entre as despesas das frotas no período de um ano . . . .	23

# Lista de abreviaturas e siglas

VE	Veículo elétrico
UFV	Universidade Federal de Viçosa
PB	<i>Payback</i>

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>10</b>
1.1	Objetivo Geral e Específicos	13
1.2	Estrutura do Trabalho	13
<b>2</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>15</b>
2.1	O serviço de Vigilância	15
2.2	O carro elétrico	16
2.3	Geração Fotovoltaica	19
<b>3</b>	<b>Resultados e discussões</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>27</b>
	<b>Referências</b>	<b>28</b>

# 1 Introdução

O grande aumento populacional e a constante evolução industrial combinam como fatores determinantes no crescimento significativo da demanda energética mundial nos últimos anos (KANNAN; VAKEESAN, 2016). Estudos indicam um aumento de cerca de 35% na demanda por energia até 2040 (MOBIL, 2013).

Paralelamente, a utilização desordenada dos combustíveis fósseis como fonte de energia e conseqüentemente o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera levaram a mudanças climáticas globais irreversíveis (II, 2014). Durante as últimas décadas, para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, autoridades e órgãos regulamentadores têm se concentrado na elaboração de políticas eficientes de mudança climática, como esquemas de comércio de emissões ou impostos sobre o carbono (ELEFTherIADIS; ANAGNOSTOPOULOU, 2015). Também é importante destacar a conferência de Paris, na qual 195 países assinaram um termo para reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases, a fim de limitar o aumento da temperatura global em 2°C. (UNFCCC, 2015).

Além do impacto ambiental, o aumento dos preços internacionais do petróleo nos últimos anos e a natureza limitada dos combustíveis fósseis estão pressionando a comunidade internacional a procurar novas fontes de energia e, especificamente, a desenvolver formas alternativas de alimentar a crescente produção mundial de veículos automotores (SINGH et al., 2015).

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2018, o petróleo é a principal *commodity* da matriz energética brasileira, representando cerca de 36,4% do consumo total, sendo utilizado principalmente para suprir a demanda de energia no setor de transportes que representa 60,6% desse total, conforme a Figura 1.

O Brasil é um país emergente cujo crescimento econômico foi acompanhado por uma crescente demanda de energia. A estabilidade da economia e o progresso nas condições financeiras da população impulsionaram o mercado automobilístico nacional, e o tornou-se o oitavo maior produtor de automóveis do mundo, responsável por uma produção de 2.879.809 de unidades em 2018 (BARAN; LEGEY, 2013), (OICA, 2018). Simultaneamente, a demanda energética para o setor progrediu e somente o setor de transporte rodoviário é responsável por 32% do consumo final energético brasileiro (ENERGÉTICA, 2018).

Neste cenário, a utilização de veículos elétricos é a principal alternativa para reduzir o impacto ambiental dos veículos automotores (BARAN; LEGEY, 2011). Embora o mercado automobilístico brasileiro figure como um dos maiores do mundo, a oferta de veículos elétricos e híbridos ainda é muito restrita. O histórico de vendas acompanha a

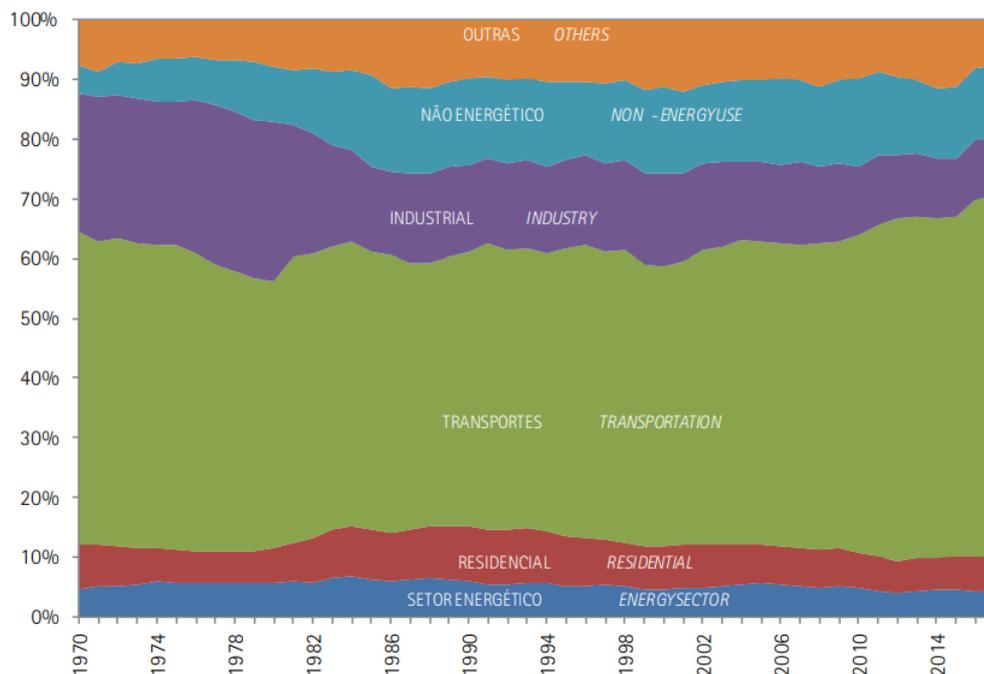


Figura 1 – Composição setorial do consumo de derivados de petróleo

Fonte: BEN, 2018.

baixa disponibilidade de modelos, posto que apresente uma tendência de crescimento. Segundo levantamento realizado pela Fundação Getúlio Vargas, em 2016 a frota mundial era de 2 milhões de veículos, sendo a projeção para 2020 que esse número chegue a 13 milhões e, em 2030, a 140 milhões, mais especificamente, 10% da frota total de carros. Já no Brasil, até 2016, foram vendidos apenas 5,9 mil carros elétricos e híbridos, número que representa apenas 0,3% da frota mundial (DELGADO et al., 2017a).

Apesar do tímido mercado brasileiro para os carros elétricos, há uma série de estudos sendo realizados para a verificação da viabilidade técnica e econômica desse tipo de tecnologia. Grande parte disso, é consequência das vantagens que vão além das questões ambientais e a necessidade que existe na redução no consumo dos combustíveis fósseis ditas anteriormente, mas em relação à estrutura construtiva propriamente dita do carro elétrico e sua função futura dentro do sistema elétrico de distribuição e geração. São elas:

- O motor é menor do que os carros convencionais, não emite ruído e nem gases poluentes;
- Pouca manutenção e mais durabilidade. Não necessitam de troca de óleo frequentes, troca de correias, velas, cabos de velas e reposição de peças móveis presentes no motor à combustão;
- O desempenho é semelhante a um carro convencional, com a diferença do torque instantâneo a qualquer velocidade, e a possibilidade de aumento progressivo da velocidade

como um câmbio automático;

- Não consome energia enquanto está parado e gera energia através da frenagem;
- Rendimento de aproximadamente 90% na conversão da eletricidade em energia mecânica, enquanto os veículos a combustão rendem 34% e 26% com diesel e gasolina respectivamente;
- Isenção/redução de impostos e oferecimento de subsídios para compra;
- Funcionamento como fonte de energia suplementar;
- Banco de energia estratégico para carregamento em horário fora de ponta e fornecimento em horário de ponta (PERES et al., 2011).

Vale salientar que o início da adoção em massa de veículos puramente elétricos deve ser analisado criteriosamente, já que, para atingir a máxima eficiência ambiental, é interessante que haja uma matriz de geração de eletricidade limpa (FAIS; SABIO; STRACHAN, 2016). Conforme os dados mostrados na Figura 2, o Brasil é um dos países que menos emitem CO<sub>2</sub> na produção de energia elétrica. Observa-se que para produzir 1MWh, o setor elétrico brasileiro emite 2,9 vezes menos que o europeu, 3,7 vezes menos que o setor elétrico americano e 5,8 menos que o chinês. O número reduzido de emissão de

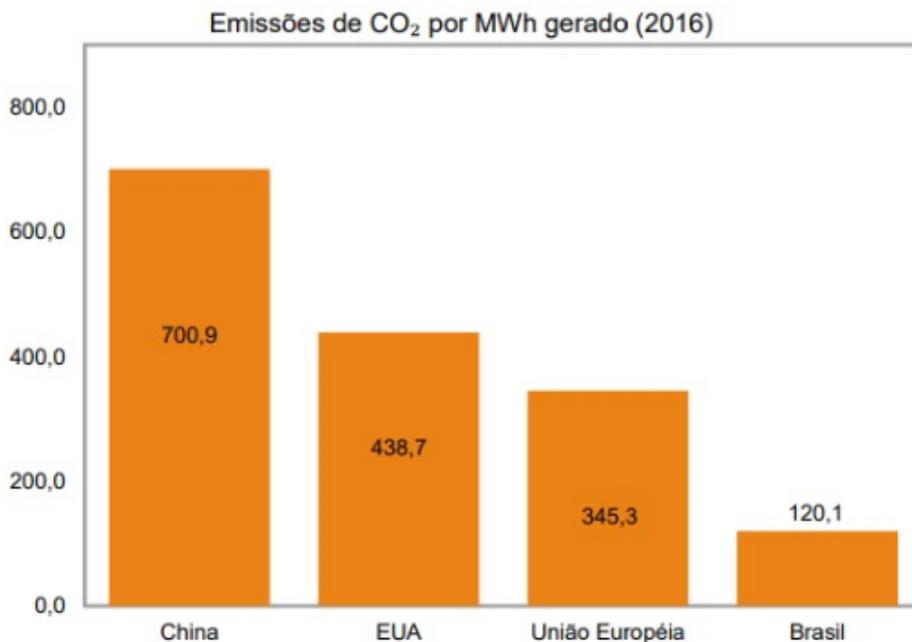


Figura 2 – Emissões na produção de energia elétrica

Fonte: BEN, 2019.

CO<sub>2</sub> na produção de energia elétrica em comparação com potências mundiais é explicado pela composição da matriz energética brasileira, visto que 45,3% da mesma é formada por fontes renováveis (ENERGÉTICA, 2019). Neste sentido, o Brasil apresenta um cenário

favorável para a implantação dessa tecnologia, caso contrário, os benefícios não seriam sentidos por completo, existindo uma redução das emissões nos centros urbanos, mas um aumento no local da geração. Configurando um cenário de compensação parcial de emissões (DELGADO et al., 2017b).

Logo, apesar de ter uma participação ainda reduzida, espera-se que carros elétricos ganhem espaços na frota brasileira ao longo das próximas décadas. Assim como em todos os países do mundo, a evolução do carro elétrico no Brasil depende de incentivos governamentais, pesquisas e planejamento (DELGADO et al., 2017a). Além desses fatores, a adoção desta tecnologia pode ser favorecida em determinadas classes de consumidores de energia e em instituições que detêm infraestrutura para receber essa inovação.

## 1.1 Objetivo Geral e Específicos

O objetivo principal deste trabalho é analisar, através de um cenário favorável os obstáculos para a implementação da tecnologia de veículos elétricos no Brasil, e avaliar se o veículo elétrico supre as necessidades de um usuário comum, de modo que o consumidor possa, de fato considerar a substituição do veículo automotor para o elétrico. Assim, será feita uma análise criteriosa sobre os impactos econômicos e técnicos gerados pela transição de veículos automotores para elétricos, com a completa compensação do consumo na geração de energia elétrica solar fotovoltaica.

Dado o objetivo geral, têm-se como objetivos específicos:

- Identificar as características, vantagens e desvantagens do veículo elétrico a bateria;
- Levantar a capacidade de geração solar fotovoltaica na garagem da Universidade Federal de Viçosa;
- Verificar a viabilidade da utilização de veículos elétricos em instituições públicas, através de fatores técnicos e econômicos.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho será composto de 4 capítulos. O presente capítulo é a introdução sobre o conteúdo explorado no trabalho. Ele aborda a crescente consciência ambiental em relação a poluição causada pelo setor de transporte e a necessidade da adoção dos veículos elétricos nos grandes centros urbanos.

O capítulo 2 irá apresentar as informações sobre o serviço de vigilância da Universidade Federal de Viçosa, também será expostas as vantagens do veículo elétrico adotado neste estudo, e por último será feita uma análise sobre a infraestrutura da Universidade

e sua capacidade em gerar energia solar fotovoltaica.

Posteriormente no capítulo 3 é discutido a viabilidade do projeto, por meio de uma análise econômica sobre a substituição dos veículos automotores pelos elétricos na frota do serviço de vigilância. Por fim, o capítulo 4 encerra o trabalho com as considerações finais e aponta propostas para trabalhos futuros.

## 2 Materiais e Métodos

O estudo foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada na cidade de Viçosa, Minas Gerais. Utilizou-se como base os dados da Divisão de Transportes (DTR) da UFV sobre os veículos da vigilância.

### 2.1 O serviço de Vigilância

Com quadro próximo a 60 servidores, o Serviço de Vigilância atende aproximadamente 2.000 ocorrências por ano, destacando-se os atendimentos a disque-denúncia, verificação de disparo de alarme, trânsito, eventos diversos, irregularidades em edifícios, furtos, agressão física e moral, assaltos, fiscalização externas e outros. Vale ressaltar que, para as atividades descritas, o setor ainda conta com sistemas de videomonitoramento, controle de acessos e alarmes em vários pontos do campus (UFV, 2019).

No atendimento à comunidade acadêmica e aos frequentadores do campus de Viçosa, são utilizados ao todo treze veículos automotores à combustão sendo: sete automóveis, quatro motocicletas e uma van. Afim de estabelecer uma equivalência quanto ao modelo, necessidade de uso, e características entre o veículo elétrico adotado no estudo e os veículos da vigilância, considerou-se como amostragem apenas os veículos de maior consumo de combustível e rodagem, caracterizando-se pelos sete automóveis e a pick up. As viaturas da vigilância foram escolhidas dentre os diversos outros setores da UFV pois apresentam grande rodagem mensal e uma utilização restrita ao campus da Universidade, o que facilita muito na proposta dos veículos elétricos, uma vez que um dos limitantes, visto a falta de estrutura para esse tipo de tecnologia no país, é o carregamento das baterias e autonomia (OWUSU; ASUMADU-SARKODIE, 2016).

A Tabela 1 traz um resumo do mapa de controle anual dos veículos no ano de 2019 até o mês de Outubro. Nota-se que a média mensal de quilômetros rodados de todos os carros é de 24.061,87 km e individualmente, 3007,73 km. Por sua vez, em combustíveis são gastos R\$ 11.507.66 mensalmente. Como a velocidade média das viaturas nas vias é baixa, têm-se um maior consumo de combustível.

Dos oito veículos analisados, cinco são modelo Volkswagen Gol sendo que os dois últimos adquiridos (PAC-01 e PAC-02) são ano 2018. Assim, para critério de comparação e determinação do carro elétrico, foram consideradas as características de catálogo do VW Gol 2018 e os dados de quilometragem da frota de veículos da vigilância para a análise técnica e cálculos econômicos.

Tabela 1 – Mapa de controle dos veículos em 2019

Veículo		Quilômetros rodados(km)	Relações			
Código	Modelo		Ano 2019	km/Mês	km/L	L/Mês
523	GM-S10	27.407	2.740,70	7,19	381,29	1.853,06
740	VW-GOL	13.240	1.324,00	8,35	158,57	770,69
752	VW-GOL	22.694	2.269,40	7,01	323,71	1.573,27
776	VW-SPACEFOX	23.167	2.316,67	10,20	227,10	1.103,54
778	VW-SPACEFOX	23.853	2.385,30	11,83	201,64	979,99
779	VW-GOL	37.043	3.704,30	12,17	301,7	1.466,64
PAC-01	VW-GOL	43.061	4.306,10	12,20	352,96	1.715,38
PAC-02	VW-GOL	50.154	5.015,40	12,20	411,10	1.997,94
Total de quilômetros rodados (km/Mês)			24.061,87			
Média de rodagem dos veículos (km/Mês)			3.007,73			
Gasto de combustível mensal (R\$/Mês)			11.460,50			

## 2.2 O carro elétrico

Depois do último Salão de São Paulo- maior exposição da indústria automobilística do Brasil- as opções de veículos elétricos no país deram um ótimo salto. Se antes o mercado contava apenas com uma opção na categoria – que não deve ser confundida com a dos híbridos – agora são seis. O BMW i3 (Figura 3) que ocupava sozinho o nicho de mercado, passou a ser um dos mais caros entre as alternativas com o valor de R\$ 205.950,00 podendo chegar a R\$ 257.950,00 com os opcionais.



Figura 3 – Veículo elétrico puro da BMW, modelo i3.

Fonte: BMW, 2019.

Entre os novos modelos disponíveis, no quesito custo-benefício, pode-se destacar o

Renault Zoe (Figura 4) que é o carro-chefe da marca na Europa e chegou sobre importação ao Brasil para competir no mercado de elétricos. Com o preço inicial de R\$ 147.990,00, o Zoe apresenta características estruturais e técnicas (dimensões, espaço interno, aerodinâmica, visual) muito similares aos veículos convencionais à combustão e, principalmente, ao VW Gol 2018 por ambos serem considerados *Hatch* compactos, escolheu-se o Zoe para a comparação no estudo.



Figura 4 – Veículo elétrico puro da Renault, modelo Zoe

Fonte: Renault, 2019.

Analisando a ficha técnica do Zoe, pode-se destacar as características inerentes ao motor elétrico como a autonomia de 300 km, energia armazenada de 41kWh e o tempo de recarga total de 2 h e 40 minutos em plug de 22 kW. O carregamento do Zoe é feito através da instalação de um carregador doméstico, no caso da Renault o equipamento é avaliado em R\$ 5.130 mais custos de instalações. Diferentemente de um carro à combustão, onde pode-se abastecer e ter autonomia total do tanque de combustível instantaneamente e em praticamente qualquer lugar, o carro elétrico precisa de uma estrutura especial para carregamento, de um plug e principalmente de um tempo de espera considerável para que o condutor siga viagem. Segundo os dados disponibilizados pela Renault, a bateria do Zoe atinge metade da sua carga máxima em aproximadamente 1 h e 30 minutos. Entretanto, esses problemas são minimizados para um uso exclusivo no interior do campus da Universidade.

Hoje a UFV conta com quatro pontos de apoio estrategicamente espalhados pelo campus conforme a Figura 5 onde os vigilantes fazem paradas regulares para descanso e

vigia, e que contam com disponibilidade de estrutura para a instalação do plug para recarga. Esses locais são essenciais pois em pequenos espaços de tempo é possível recarregar um pouco a bateria caso seja necessário, visto que o fabricante garante a possibilidade de recarga por qualquer tempo e porcentagem de bateria sem danos ao equipamento. Um quinto ponto de apoio seria instalado na garagem, onde poderiam ser recarregados a noite os veículos que não estariam em uso. De qualquer forma, com a disponibilidade de oito carros na segurança, pode-se realizar um rodízio entre os mesmo para que eles estejam carregados e preparados para a utilização imediata em todos os momentos.

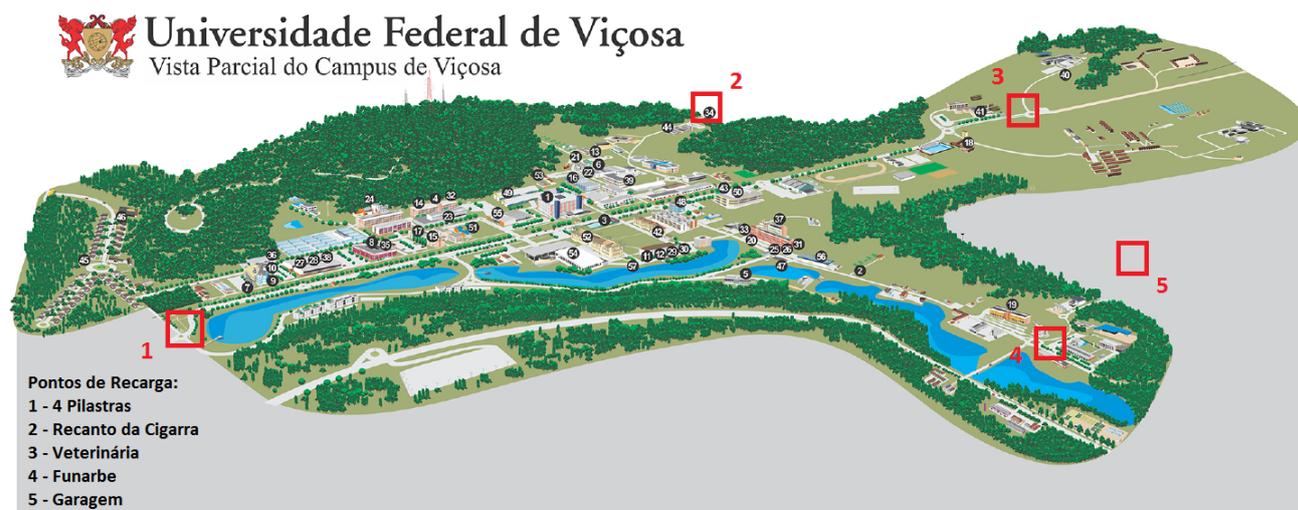


Figura 5 – Pontos de recarga para os VE's no campus da UFV.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o intuito de mensurar o consumo do Renault Zoe e a quantidade de baterias “utilizadas” durante um mês, dividiu-se a quilometragem média de rodagem encontrada anteriormente de 24.061,87 km, pela autonomia de 300 km do Zoe o que resultou em 80 recargas mensais de 100% da bateria. Multiplicando-se esse valor pela capacidade da bateria que é de 41 kWh, obteve-se um consumo mensal de energia de aproximadamente 3.288 kWh.

Caso as baterias funcionassem de forma ideal com rendimento de 100% seria possível estipular o consumo de energia de uma maneira bem simplificada, através da divisão da autonomia do veículo pela capacidade de bateria, o que resultaria em um consumo de 0,136 kWh/hm. Entretanto, para estabelecer precisamente o consumo de energia de um veículo elétrico é necessário considerar e avaliar alguns fatores como: perdas na bateria, diferenças topográficas, tipos de pavimentação e padrão de condução (ANEEL, 2018).

Após simulações realizadas pelo programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), sobre condições mais comuns de utilização, o Renault Zoe apresentou um consumo energético de 5,56km/kWh, além de um consumo equivalente a 32,2 km/L na cidade e 26,7km/L nas

Tabela 2 – Resumo das especificações técnicas do Renault Zoe

Renault Zoe	
Autonomia(km)	300
Capacidade da bateria(kWh)	41
Potência(cv)	92
Velocidade Máxima(km/h)	132
Consumo de energia(km/kWh)	5,56
Tempo de carregamento(h)	02:40

estradas. Por conta de sua eficiência, o veículo atingiu o nível “A” na tabela do Inmetro, recebendo o selo Conpet (INMETRO, 2019). Na análise de viabilidade econômica serão utilizados os dados disponibilizados acima, devido ao fato de que os valores apresentados estão relacionados à situações reais de uso. Na Tabela 2 é apresentado as principais especificações técnicas do Zoe.

Em relação ao custo de utilização, com o crescente aumento no preço da gasolina, a energia elétrica necessária para movimentar veículos elétricos possui um valor consideravelmente inferior à dos combustíveis. Fazendo uma análise rápida, com o custo da energia elétrica de 0.62/kWh e o da gasolina no valor de R\$ 4,80 o litro, valores na cidade de Viçosa/MG (Novembro de 2019); para um percurso de 100 km, considerando que o VE consuma 0,18 kWh/km, e o veículo automotor faça 13 km/L, tem-se um custo final de R\$ 11,16 para o VE, versus R\$ 36,92 para o veículo a gasolina. Com esses resultados, é possível afirmar que o custo de utilização do carro elétrico (desconsiderando os possíveis gastos com manutenção do veículo) fica em aproximadamente 30% do custo do uso de veículo a gasolina.

## 2.3 Geração Fotovoltaica

Com o intuito de compensar o consumo dos veículos elétricos, fez-se um estudo para a geração de energia solar fotovoltaica na cobertura do galpão da garagem. O local foi escolhido por apresentar uma grande área de telhado, boa estrutura para receber os equipamentos necessários para o funcionamento da usina solar e basicamente por ser o principal ponto de recarga dos carros elétricos.

A simulação para averiguar a disponibilidade e o tamanho do investimento necessário para a geração de energia iniciou-se com um levantamento fotográfico com drone no perímetro da garagem. Foram geradas quarenta fotos 2D com marcação de altura dos mais diversos pontos ao longo de um percurso pré-programado pelo operador. Esse material foi inserido no software Agisoft Metashape e gerou-se um modelo 3D do local que foi utilizado para o cálculo da capacidade de geração fotovoltaica (Figura 6).

O software adotado para os cálculos de irradiação solar e potencial de geração foi



Figura 6 – Modelo 3D do local da instalação dos painéis solares fotovoltaicos

Fonte: Elaborado pelo autor.

o PVsyst. Primeiramente foi necessário entrar com as coordenadas geográficas do local a ser estudado, no caso, Latitude  $-20.75$  S e Longitude  $-42.88$  W, e exportar o modelo 3D para a leitura do programa.

Foram escolhidos módulos de silício policristalino (Figura 7) de 330 W que são facilmente encontrados no mercado. Seus cristais são formados através do aquecimento do silício bruto, e depois arrefecido em blocos, com dimensões pré-determinadas para facilitar a produção dos módulos. O silício policristalino apresenta uma eficiência de 13% a 15% em sua produção energética (ENERGIA... , 2019). Ciente da necessidade de geração mensal de 3.288 kWh, o simulador procurou o melhor cenário para esse potencial considerando dados climáticos, o relevo, a inclinação da cobertura e a orientação em relação ao Norte.

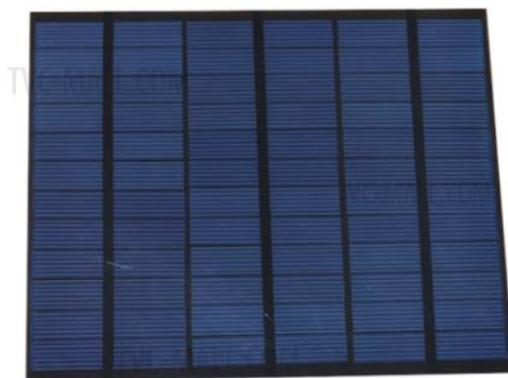


Figura 7 – Placa de silício policristalino adotada no estudo

Fonte: Portal Solar, 2019.

### 3 Resultados e discussões

A viabilidade de um projeto está diretamente ligada à capacidade de realização e adequação de estruturas, além do retorno econômico, social e ambiental seja qual for o caso. Para a implementação de veículos elétricos e a geração de energia solar fotovoltaica nas dependências da UFV, não há nenhum empecilho técnico, muito pelo contrário, a Universidade por dispor de uma grande estrutura e mão de obra especializada, torna simples a adequação dos espaços para o recebimento dos plugs de carregamento, bem como toda a instalação elétrica, e todos os equipamentos necessários para a geração de energia solar fotovoltaica. Os ganhos da adoção de carros elétricos são evidentes quando se considera a redução de manutenções, a melhora no rendimento e o ganho ambiental do veículo. Por sua vez, a geração de energia solar se consolidou como uma ótima fonte alternativa de energia que além de ser sustentável ajuda drasticamente nos cortes de gastos com os custos crescentes da energia elétrica. Diferentemente da implementação do carro elétrico, a geração de energia fotovoltaica já é consolidada como uma alternativa sendo economicamente viável na grande maioria dos casos, dispensando comentários acerca desse assunto

Uma vez apresentadas as características técnicas, os ganhos em relação ao carro elétrico e à geração de energia; deve-se então, avaliar o cenário financeiro e estimar o custo para a implementação do sistema proposto. Para este estudo será utilizado o método do *payback* ou método do tempo de retorno do investimento. *payback* significa “retorno”. É um indicador usado para calcular o período de retorno de investimento em um projeto- é o tempo de retorno desde o investimento inicial até aquele momento em que os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor desse investimento. O investimento inicial e o fluxo de caixa serão cálculos através das estimativas abaixo:

- Estimativa de custos de compra de veículos;
- Estimativa de custos de energia elétrica e combustíveis;
- Estimativa de custos de manutenção.

O ponto inicial para a comparação dos custos partirá da premissa de renovação da frota de veículos da vigilância. Serão contabilizados oito carros novos e idênticos, onde serão analisadas as vantagens financeiras de cada modelo e no fim uma quantificação do tempo de retorno do investimento em anos.

Para determinar os custos de compra dos veículos, fez-se uma breve visita aos sites das montadoras e teve-se acesso ao valor de mercado de cada bem. Para o veículo convencional a gasolina da VW, um Gol 1.0 2019 considerado um carro popular, o seu preço inicial parte dos R\$ 47.020,00 com garantia de três anos e quilometragem ilimitada

de motor e caixa. Para o Renault Zoe, o veículo elétrico e também com padrões de popular, o preço da versão mais básica parte dos R\$ 147.990,00 com garantia de três anos ou 100.000 quilômetros (o que chegar primeiro) para o motor. As revisões tabeladas conforme os fabricantes são de R\$ 3.097,00 e R\$ 2.620,00 respectivamente até os 60.000 km.

A discrepância na popularização da tecnologia e de peças utilizadas em cada veículo, faz com que a diferença entre os custos de compra entre os automóveis seja de 314,7%, o que acaba sendo muito impactante no investimento inicial do projeto. Outro ponto interessante é a pequena diferença nos valores de manutenção visto que teoricamente o veículo elétrico deveria despendar maiores gastos em peças e mão de obra especializada.

Foram estimados para o período de Janeiro a Outubro de 2019 os custos relativos à tarifação de energia elétrica e combustíveis praticados na cidade de Viçosa-MG. A Universidade por ser um grande consumidor, se enquadra na classe do Poder Público Federal com nível de tensão de fornecimento A4 e tarifa horo-sazonal azul. Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se estabelece tanto o valor da demanda no horário de ponta (HP) quanto o valor no horário fora de ponta (HFP).

Dessa forma, vislumbrando uma tarifa reduzida para o custo do kWh, foi feita a média dos tarifas paga pela UFV no ano de 2019 no HFP, e chegou-se na a tarifa média de 0,37 reais, necessitando apenas de uma adequação na rotina de carregamento dos veículos, evitando o período de 17:00 às 20:00 em dias úteis. Mediante o relatório da Agência Nacional do Petróleo (ANP) sobre os preços dos combustíveis comercializados nos municípios brasileiros, o preço médio do litro de gasolina (combustível utilizado pelos veículos da frota da UFV) foi de R\$ 4,86. Esses valores divididos pelo consumo de cada veículo geram um custo por quilômetro percorrido de R\$ 0,37 para o VW Gol e R\$ 0,07 para o Renault Zoe, ou seja, uma diferença de aproximadamente 428%. É importante ressaltar que essa grande diferença nos custos de deslocamento é potencializada pelo valor reduzido da tarifa de energia elétrica paga pela Universidade no horário fora de ponta, o que não é a mesma realidade para maioria dos consumidores.

De acordo com os valores praticados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), um consumidor comum em Viçosa pagou uma tarifa de R\$ 0,9817/kWh em novembro de 2019, o que resultaria em um custo por quilômetro percorrido de R\$ 0,18, representando uma diferença de 157% para o custo de deslocamento do Renault Zoe entre um consumidor comum e um grande consumidor.

Em relação aos custos de manutenção, foram considerados os valores das revisões tabeladas fornecidos pelos fabricantes. Além disso, será adotado o prazo de vigência de garantia do fabricante para a realização de uma nova renovação de frota, o que faz com que concessionária tenha total responsabilidade sobre a manutenção preventiva e corretiva dos

Tabela 3 – Comparativo econômico VW Gol x Renault Zoe

Comparativo					
Veículo	Aquisição	Revisões*	Consumo	Insumo	Custo (R\$/km)
Gol	R\$ 47.020,00	R\$ 3.097,00	13,3 km/L	Gasolina (R\$/L)	0,37
Zoe	R\$ 147.990,00	R\$ 2.620,00	5,6 km/kWh	Eletricidade (R\$/kWh)	0,07
* Garantia de 5 anos para bateria					
** Revisões tabeladas até 60.000 km					

Tabela 4 – Comparativo entre as despesas das frotas no período de um ano

Despesas/Ano		
	Combustível	Manutenção
VW-Gol	R\$ 106.560,00	R\$ 14.865,60
Renault Zoe	R\$ 20.160,00	R\$ 10.480,00
Economia	R\$ 86.400,00	R\$ 4.385,60
Economia Total	R\$90.785,60	

carros, evitando maiores complicações e ônus ao serviço público. Na Tabela 3 é apresentado um resumo comparativo entre os dois veículos.

Para finalmente calcular o payback sem a compensação do consumo pela geração de energia fotovoltaica, foi feito um comparativo entre as despesas da frota com os veículos elétricos e automotores no intervalo de tempo de um ano.

Conforme mostrado na Tabela 5, a economia obtida em um ano seria de R\$ 11.768,20 por veículo. Considerando que a diferença no custos dos veículos é de R\$ 100.970, é possível então determinar quantos anos levaria para que o investimento fosse recuperado.

$$Payback = \frac{Investimento\ inicial}{Economia\ Total} \quad (3.1)$$

$$Payback = \frac{807.760,00}{90.785,60} = 8,9\ anos \quad (3.2)$$

O resultado encontrado de 8,9 anos mostra o tempo necessário para que a economia proporcionada pelo veículo elétrico pagasse o investimento a mais que o consumidor teria ao optar pelo elétrico. O payback simples é uma análise superficial de viabilidade do investimento, pois não considera o valor do dinheiro no tempo e os fluxos de caixa após o período de PB. Entretanto, o uso de outros indicadores de viabilidade econômica torna-se dificultado, já que há a necessidade de renovação da frota a cada três anos, o que impossibilita a previsão exata do fluxo de caixa gerado pelo investimento.

Através de simulações feitas no software PVsyst, foram avaliados os resultados, para o caso do galpão da garagem, a fim de estabelecer a economia proporcionada pela geração de energia solar fotovoltaica. Serão necessárias 85 placas solares divididas em dois

grupos cada qual com um controlador solar de carga (MPPT), sendo o primeiro composto por 40 módulos e o segundo por 45 módulos, divididos em duas *strings* paralelas.

Com o objetivo de otimizar a geração, optou-se pela adoção de uma inclinação (*tilt*) de 15° para a estrutura de sustentação das placas, em um azimute de -41°. O sistema proposto tem um potencial de 30,06 kWp e uma capacidade de produção de 39.84 MWh/ano. Ao mês serão gerados em média 3.320 kWh em apenas 134m, o que é mais que suficiente para abastecer os carros elétricos atualmente. Isso se deve muito à pouca incidência de sombreamento no local e principalmente à grande incidência solar a partir das 7:30 da manhã em praticamente o ano todo conforme a carta solar da Figura 8.

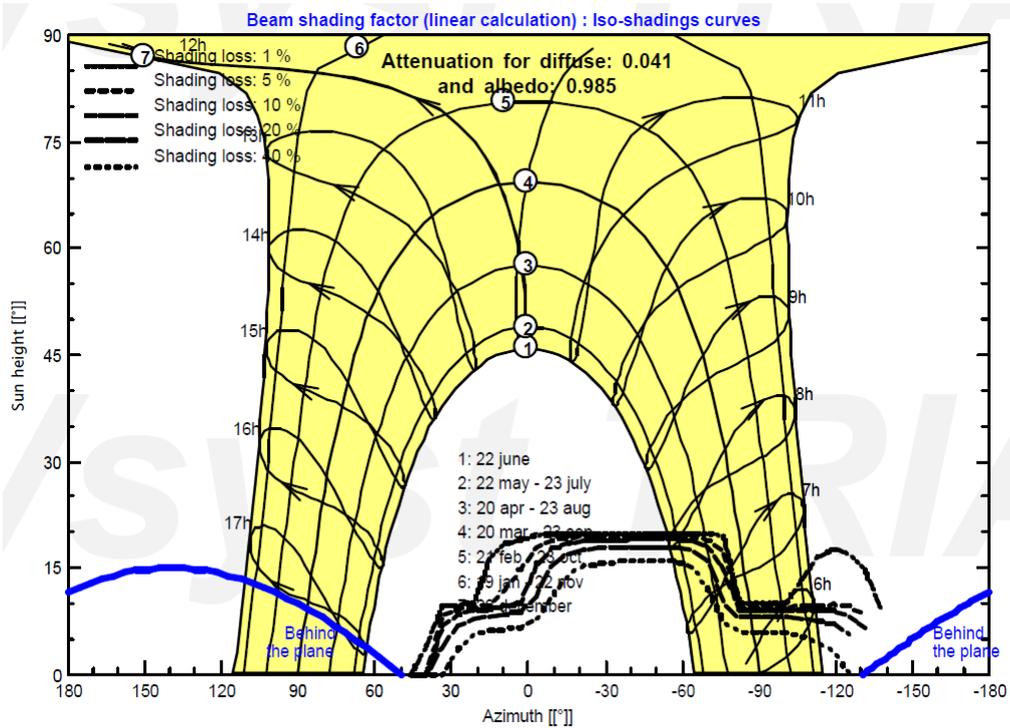


Figura 8 – Carta solar do local da instalação dos painéis solares fotovoltaicos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os valores dos módulos, inversores e toda instalação elétrica para a instalação da usina solar, chegou a conclusão que seria necessário um investimento de R\$ 87.000 para gerar energia capaz de compensar 100% o consumo dos veículos elétricos. Dessa maneira, o *payback* com a geração é dado a seguir:

$$Payback(\text{com geração}) = \frac{\text{Investimento inicial} + \text{Investimento geração}}{\text{Economia Total} + \text{Custo de deslocamento do ZOE}} \quad (3.3)$$

$$Payback(\text{com geração}) = \frac{807.760,00 + 85.000}{90.785,60 + 20.160,00} = 8 \text{ anos} \quad (3.4)$$

É possível observar que a geração de energia solar fotovoltaica não só resulta em benefícios ambientais, mas também em econômicos, já que o tempo de retorno de investimento com a compensação do consumo é inferior. Nota-se que os valores de payback podem ser alterados caso alguma das variáveis envolvidas no cálculo se modifiquem. Basicamente, quanto maior a rodagem dos veículos, maior é o retorno da implantação do projeto. Da mesma forma, quanto maior a relação entre o custo da gasolina e da energia elétrica, maior a recompensa financeira.

De acordo com os dados levantados pelo estudo, foi traçada às variações dos preços da gasolina e da energia elétrica no período de novembro de 2017 até outubro de 2019. Através das linhas de tendência traçadas nos gráficos das Figuras 1 e 2, percebe-se que o preço do combustível têm uma significativa tendência de aumento em relação ao preço da energia elétrica em Viçosa. Dessa maneira, se as variações dos custos da energia elétrica e da gasolina seguirem esse caminho, a implementação dos veículos elétricos ficará mais atrativa financeiramente.

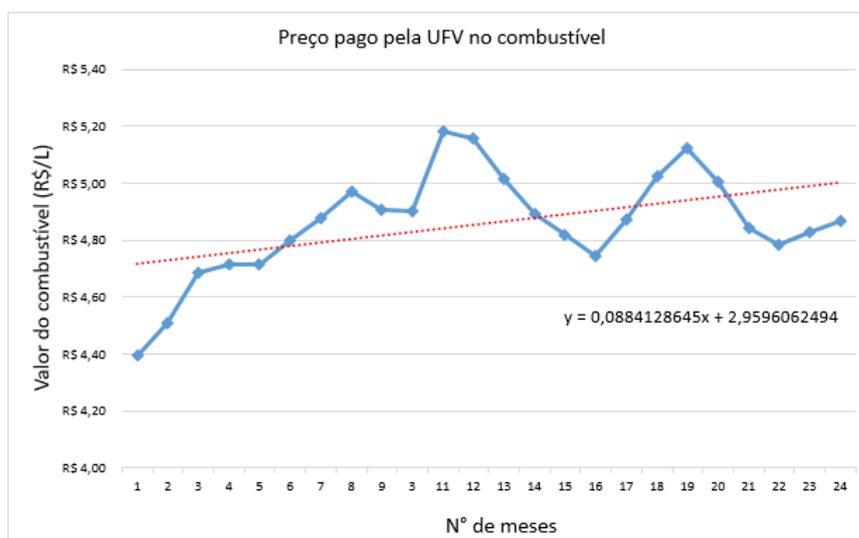


Figura 9 – Variação do preço da gasolina

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como foi demonstrado durante o trabalho, os VE's trazem excelentes benefícios para a sociedade, além da redução dos gases do efeito estufa, da melhor eficiência energética desses veículos e de um menor custo de manutenção, também pode ser citado a contribuição que as baterias podem trazer para a rede elétrica. Os veículos elétricos podem ser usados como sistema de armazenamento de energia, com o auxílio das redes inteligentes consumidores poderão injetar a energia armazenada na bateria no seu VE's na rede no instante mais benéfico, de acordo com as tarifas cobradas pelas concessionárias de energia (MESARIĆ; KRAJCAR, 2015).

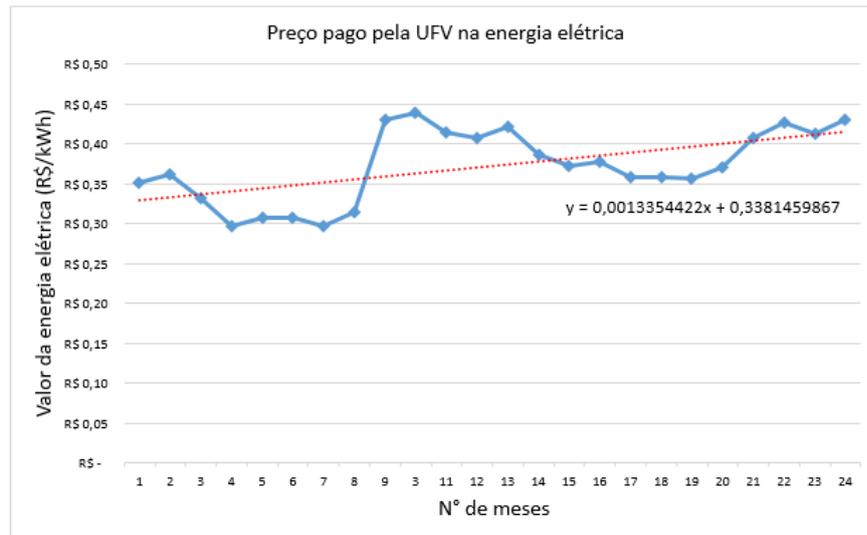


Figura 10 – Variação da tarifa de energia elétrica

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em suma, os carros elétricos estão se desenvolvendo e atingirão maior escala nos próximos anos. É nítido o potencial de consolidação dessa tecnologia, entretanto, no curto prazo, os veículos elétricos ainda estão longe de serem uma opção lucrativa para os consumidores no Brasil. O seu alto valor de aquisição e as incertezas que permeiam o mercado, principalmente, nos custos elevados da bateria e na depreciação desses veículos, prejudicam a eclosão dessa tecnologia.

Em relação ao projeto, considerando as questões práticas, o mesmo é executável, contudo, o tempo de retorno financeiro é longo, além disso é muito provável que um investimento desse porte seja mais impactante, com ganhos monetários mais atrativos, em outras áreas. Além disso, existem imprecisões em relação a autonomia da bateria, a renovação da frota e a manutenção dos VE's, o que afasta essa tecnologia da realidade de uma instituição pública, e mais ainda do alcance popular uma vez que Universidade conta com taxas diferenciadas de energia, mão de obra especializada e infraestrutura para o carregamento dos veículos.

Por fim, apesar da falta de infraestrutura ao redor do país e problemas com a vida útil da bateria, o maior impeditivo atual da polarização dos veículos elétricos ainda é seu alto custo de aquisição, que sem incentivos governamentais, prejudicará a disseminação dessa tecnologia em ascensão.

## 4 Considerações finais

O estudo apresentado sobre a substituição dos carros da vigilância indica que o veículo elétrico atende às necessidades da Universidade, podendo desempenhar com igual qualidade as atividades de patrulhamento e atendimento no campus. A substituição de veículos à combustão interna por veículos elétricos faz com que se reduza a 81% as despesas anuais com combustíveis na frota da vigilância. Quanto ao custo de manutenção, verificou-se que ambos se equivalem em termos monetários quando mantidos em garantia, contudo, há maiores vantagens ao carro elétrico visto a pouca necessidade de manutenção e a maior durabilidade, pois não necessitam de troca de óleo frequentes, troca de correias, velas, cabos de velas e reposição de peças móveis presentes no motor à combustão.

Todavia, como mostra o estudo, um dos maiores desafios para a introdução e popularização do veículo elétrico no mercado nacional se deve ao seu elevado preço. Na comparação com um carro à combustão de mesmo segmento, o veículo elétrico apresentou um preço 314,7% superior, o que é bem significativo visto o poder aquisitivo da população em geral. O problema não é exclusividade brasileira, já que veículos com essa estrutura são mais caros em todo o mundo. Claro, por aqui, devido à importação, impostos e falta de incentivo, o problema se agrava.

Políticas públicas e incentivos governamentais serão necessários para a popularização dos carros elétricos no mercado brasileiro, sendo a melhor forma de acelerar a entrada e a consolidação dessa tecnologia no país, uma vez que a tendência de troca e opção pela tecnologia é evidente em todo o mundo. Muito do que esse nicho de mercado irá passar nos próximos anos, pode ser comparado ao que a geração solar fotovoltaica e suas tecnologias passaram e ainda passam, mas que hoje, é unanimidade de que o investimento vale a pena tecnicamente e financeiramente.

# Referências

- ANEEL. **RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS Levantamento de informações do Corredor Elétrico Sul do Brasil**. 2018. Acessado em 25-11-2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/10184/0/Recarga+de+Ve%C3%ADculos+El%C3%A9tricos+-+Levantamento+de+informa%C3%A7%C3%B5es+do+Corredor+El%C3%A9trico+Sul+do+Brasil/fad49adf-0e06-062e-ef11-814e6232f372?version=1.>>>
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.**, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2011.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. The introduction of electric vehicles in brazil: Impacts on oil and electricity consumption. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier, v. 80, n. 5, p. 907–917, 2013.
- DELGADO, F. et al. Carros elétricos. FGV Energia, 2017.
- DELGADO, F. et al. Temas discutidos no evento de lançamento do caderno fgv energia: carros elétricos. 2017.
- ELEFTHERIADIS, I. M.; ANAGNOSTOPOULOU, E. G. Identifying barriers in the diffusion of renewable energy sources. **Energy Policy**, Elsevier, v. 80, p. 153–164, 2015.
- ENERGÉTICA, E.-E. de P. Balanço energético nacional 2018: Ano base 2017. **Rio de Janeiro: EPE**, v. 180, 2018.
- ENERGÉTICA, E.-E. de P. Balanço energético nacional 2019: Ano base 2018. **Rio de Janeiro: EPE**, v. 180, 2019.
- ENERGIA Fotovoltaica Manual sobre tecnologias,projecto e instalações. 2019. Acessado em 26-11-2019. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>.
- FAIS, B.; SABIO, N.; STRACHAN, N. The critical role of the industrial sector in reaching long-term emission reduction, energy efficiency and renewable targets. **Applied Energy**, Elsevier, v. 162, p. 699–712, 2016.
- II, I. P. on C. C. W. G. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. [S.l.]: IPCC Working Group II, 2014.
- INMETRO. **Tabela de consumo/eficiência de veículos leves**. 2019. Acessado em 26-11-2019. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos\\_leves\\_2019.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2019.pdf)>.
- KANNAN, N.; VAKEESAN, D. Solar energy for future world:-a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 62, p. 1092–1105, 2016.
- MESARIĆ, P.; KRAJCAR, S. Home demand side management integrated with electric vehicles and renewable energy sources. **Energy and Buildings**, Elsevier, v. 108, p. 1–9, 2015.

- MOBIL, E. The outlook for energy: A view to 2040. **Exxon Mobil**, v. 6, 2013.
- OICA, O. I. d. C. d. **Automobiles. Production statistics**. 2018.
- OWUSU, P. A.; ASUMADU-SARKODIE, S. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. **Cogent Engineering**, Taylor & Francis, v. 3, n. 1, p. 1167990, 2016.
- PERES, L. A. P. et al. Analysis of the use of electric vehicles by electric utility companies fleet in brazil. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 9, n. 7, p. 1032–1039, 2011.
- SINGH, S. et al. Hydrogen: A sustainable fuel for future of the transport sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 51, p. 623–633, 2015.
- UNFCCC, V. Adoption of the paris agreement. **United Nations Office at Geneva, Geneva**, 2015.