

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RAYSON DE OLIVEIRA E SILVA

ANÁLISE DE CENÁRIOS DE INVESTIMENTO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS E EM VEÍCULOS ELÉTRICOS POR
CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

Campo Grande - MS

Agosto, 2021

RAYSON DE OLIVEIRA E SILVA

**ANÁLISE DE CENÁRIOS DE INVESTIMENTO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS E EM VEÍCULOS ELÉTRICOS POR
CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência para obtenção do grau de
Bacharelado em Engenharia Elétrica da Uni-
versidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Luigi Galotto Junior

Campo Grande - MS

Agosto, 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças e sabedoria e a minha família pelo apoio e orações diárias. A minha esposa Aline e meu filho Ethan, que me encorajaram e não deixaram que eu desanimasse. Ao Prof. Dr. Luigi Galotto Júnior pela orientação e comprometimento. Por fim agradeço a meus amigos e colegas de curso que estiveram comigo durante esta caminhada e fizeram com que fosse mais leve e agradável.

RESUMO

A energia elétrica é utilizada de diversas formas para o desenvolvimento da sociedade. Atualmente, o interesse por geração distribuída e veículos elétricos tem aumentado devido ao desejo de economia e independência energética e também por apelos ambientais crescentes. Com o objetivo de avaliar os impactos e mudanças na utilização da energia elétrica com a inserção destas inovações, foram feitas revisões bibliográficas, coleta de dados reais, construção de cenários para simulações e estudos de viabilidade econômica. Foram considerados dados reais de quatro consumidores residenciais para a realização de uma inferência estatística para todos os consumidores com padrão de consumo semelhante, utilizados como caso base. Posteriormente, foram considerados três cenários de mudanças nestes casos base: primeiro, a substituição do veículo à combustão por um VE (Veículo Elétrico); segundo, utilizando SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede); e terceiro, combinando os dois cenários anteriores. Observou-se que a viabilidade econômica do cenário com VE ocorre com utilização do veículo acima da média de rodagem nacional. O cenário com SFCR se torna mais viável quanto maior for a potência instalada devido à redução do custo por kW pico. A combinação dos dois cenários também se mostrou uma opção interessante para consumidores que utilizam o veículo em uma média compatível com motoristas profissionais. Os resultados deste trabalho poderão subsidiar futuras decisões de investimento em SFCR e em VE por consumidores residenciais.

PALAVRAS-CHAVE: energia elétrica; geração distribuída; veículos elétricos; viabilidade econômica.

ABSTRACT

Electric energy is used in different ways for the development of society. Currently, interest in distributed generation and electric vehicles has increased due to the desire for energy savings and independence and also for growing environmental appeals. In order to assess the impacts and changes in the use of electric energy with the insertion of these innovations, were made bibliographic reviews, real data collection, construction of scenarios for simulations and economic feasibility studies. Real data from four residential consumers were considered to perform a statistical inference for all consumers with a similar consumption pattern, used as a base case. Subsequently, three change scenarios were considered in these base cases: first, the replacement of the combustion vehicle by an EV (Electric Vehicle); second, using GCPS (Grid Connected Photovoltaic System); and third, combining the two previous scenarios. It was observed that the economic feasibility of the EV scenario occurs with above the national average vehicle use. The GCPS scenario becomes more viable the higher the installed power is due to the reduction in the cost per kW peak. The combination of the two scenarios also proved to be an interesting option for consumers who use the vehicle in an average compatible with professional drivers. The results of this work may support future investment decisions in GCPS and EV by residential consumers.

KEYWORDS: electric energy; distributed generation; electric vehicles; economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz Energética Mundial 2018	8
Figura 2 – Matriz Energética Brasileira 2020	9
Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira 2017	9
Figura 4 – Dados e Projeção de consumo - Consumidor 1	17
Figura 5 – Dados e Projeção de consumo - Consumidor 2	18
Figura 6 – Dados e Projeção de consumo - Consumidor 3	19
Figura 7 – Dados e Projeção de consumo - Consumidor 4	19
Figura 8 – Dados de consumo e estatísticas	20
Figura 9 – TIR a.m. - VE	26
Figura 10 – VPL - VE	26
Figura 11 – Tempo de Retorno - VE	27
Figura 12 – Retorno financeiro para 1.653 km rodados por mês	27
Figura 13 – Retorno financeiro para 2.469 km rodados por mês	28
Figura 14 – Equação da curva - SFCR	29
Figura 15 – Retorno do Investimento (ROI) - SFCR	30
Figura 16 – Retorno do Investimento (ROI) - SFCR e VE (à vista)	31
Figura 17 – Retorno do Investimento (ROI) - SFCR e VE (financiado)	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo das UC's	16
Tabela 2 – Projeções de consumo UC's	18
Tabela 3 – Dados de consumo médio	20
Tabela 4 – Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]	23
Tabela 5 – Consumo médio	28
Tabela 6 – Potência, geração média e custo do SFCR	29
Tabela 7 – Comparação de indicadores entre os cenários analisados	32

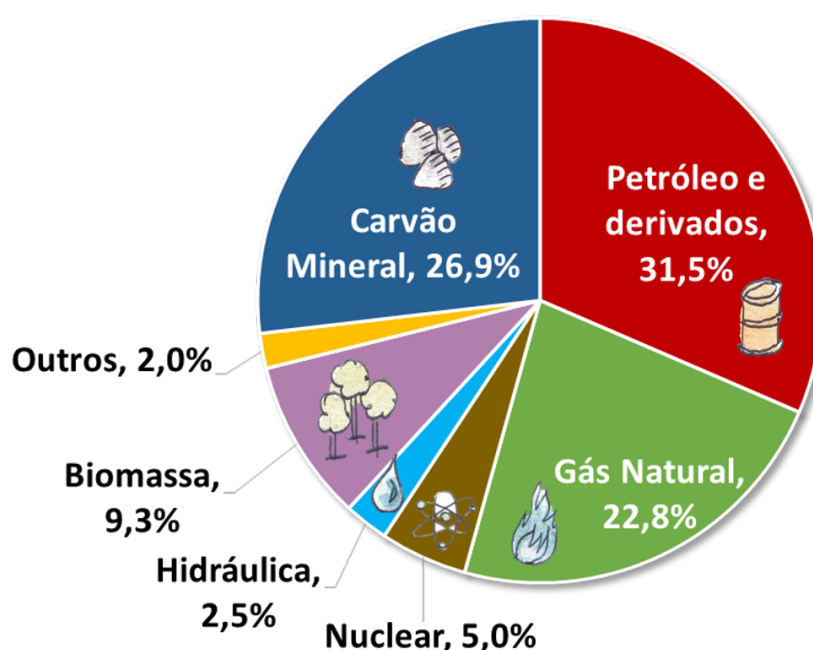
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Fundamentação Teórica	12
1.1.1	Geração distribuída	12
1.1.2	Fontes renováveis de energia	12
1.1.3	Veículos elétricos	13
1.1.4	Estudo de viabilidade econômica	13
1.2	Revisão Bibliográfica	13
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	Organização do Trabalho	14
2	METODOLOGIA	15
2.1	Dados de consumidores de referência	15
2.2	Especificação dos cenários analisados	21
2.2.1	Cenário 1 - Utilização de Veículos Elétricos	21
2.2.2	Cenário 2 - Geração Distribuída	23
2.2.3	Cenário 3 - União dos cenários 1 e 2	24
2.3	Análise de Viabilidade Econômica	24
3	RESULTADOS	26
3.1	Cenário 1 - Substituição dos veículos de combustão por VE	26
3.2	Cenário 2 - Instalação de SFCR	28
3.3	Cenário 3 - SFCR e VE	30
3.4	Comparativo entre os cenários	31
4	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

O uso de energia é essencial para o desenvolvimento e bem-estar mundial. Precisa-se de energia para transporte, acender lâmpadas, cozinhar, carregar aparelhos, etc. A matriz energética mundial é composta em sua maioria por fontes não renováveis de energia como petróleo, carvão e gás natural (conforme observa-se na Figura 1). Em contrapartida, o Brasil tem quase metade de sua matriz energética advinda de fontes renováveis de energia como a água, derivados de cana e carvão vegetal (Figura 2)(EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019).

Figura 1 – Matriz Energética Mundial 2018

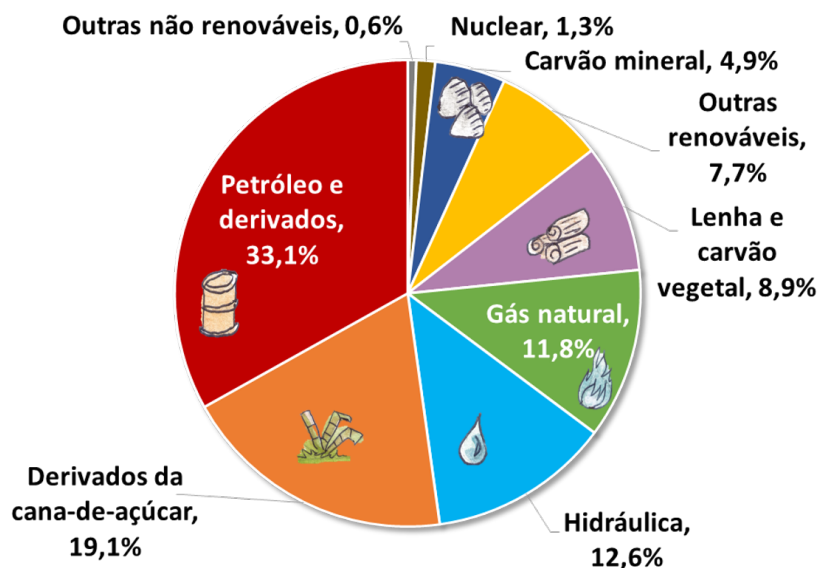


Fonte: *Internacional Energy Agency* - IEA, 2021

O Brasil ter sua matriz energética focada em fontes renováveis de energia é benéfico para o meio ambiente e um avanço tecnológico desejado por países em desenvolvimento. A maior fonte de abastecimento elétrico atualmente é a hidráulica (Figura 3), porém, com o avanço da geração distribuída o consumidor pode investir em seu autoconsumo residencial além de haver a possibilidade de utilizar veículos elétricos, evitando ainda mais a emissão de gases de efeito estufa e trazendo benefícios econômicos para si, explorando outras matrizes como solar, eólica e biomassa.

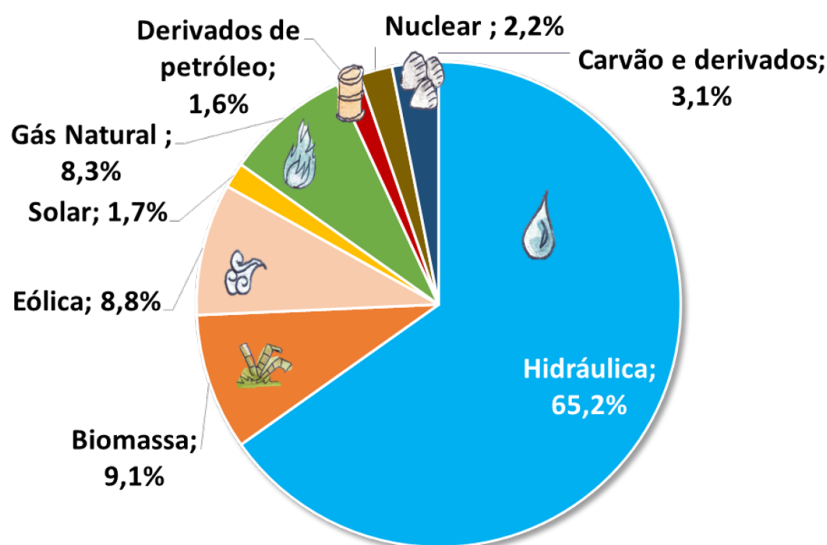
Segundo (MANJREKAR, 2016) a geração distribuída tem sido extensamente estudada e vem se desenvolvendo rapidamente. Isso pode ser relacionado à instalação em pequenas áreas habitacionais e/ou residências individuais para autoconsumo. Como a tecnologia é aperfeiçoada com o tempo, espera-se que esse modo de utilização de energia cresça consideravelmente. Atualmente, sistemas fotovoltaicos têm sido utilizados em larga

Figura 2 – Matriz Energética Brasileira 2020



Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN, 2021

Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira 2017



Fonte: BEN, 2018

escala devido à facilidade de instalação e pequenos custos pós-instalação em relação aos benefícios advindos da eletricidade gratuita.

Nesse contexto, o Sol, estrela central do Sistema Solar, é também sua principal fonte de energia. O Brasil é abundante em recurso solar, porém os custos elevados são pouco atrativos. Alguns fatores que influenciam no custo da energia solar fotovoltaica são: irradiação solar disponível, desempenho e custo dos sistemas fotovoltaicos (NAKABAYASHI, 2015). Em alguns países, incentivos foram dados para que as pessoas utilizassem sistemas fotovoltaicos *on-grid* (conectados na rede elétrica). Os programas de incentivo se justificam

por questões ambientais, geração de empregos, segurança energética, desenvolvimento de tecnologia e de uma cadeia produtiva. Estas questões encontram-se em discussão, porém, mesmo um programa de sucesso em outro país não pode ser diretamente importado visto que cada nação tem suas peculiaridades conforme a política, localidade e fonte de energia (EPE, 2012). É papel do Estado formular políticas públicas que incentivem e viabilizem projetos que sejam considerados benéficos à nação como é o caso da redução na tarifa praticada nos leilões para geração eólica no Brasil.

Em (NAKABAYASHI, 2015) foi estimado que o tempo de retorno (*payback*) no Brasil ao se instalar um SFCR seria em média de 11,3 anos. Em Campo Grande, base deste trabalho, o (*payback*) estimado foi de 9 anos. Atualmente, por conta dos incentivos para redução de tarifas e aquisição de kits de sistemas fotovoltaicos, estima-se que o retorno ocorra de 3 a 5 anos. Tornou-se uma alternativa viável ao consumidor, pois além dos dados apresentados ainda existem outros incentivos como financiamentos com menores taxas.

Para pequenas áreas a geração solar pode flutuar consideravelmente em questão de minutos. Sombreamento por nuvens e mudanças nas condições atmosféricas causam essas variações. Por esta razão uma solução tem sido lentamente aceita e implementada: o armazenamento de energia. Atualmente esse armazenamento consiste no uso de baterias. As baterias têm sido melhoradas para serem menores, com maior capacidade, mais seguras e de menor custo com o tempo. Espera-se que em breve a instalação de sistemas solares fotovoltaicos inclua o estoque de energia em baterias para fornecer energia o tempo todo (MANJREKAR, 2016).

Com o crescimento do uso de tecnologias energéticas modernas espera-se o aumento da disseminação do uso de veículos híbridos e elétricos, algo que tem sido presenciado em países como E.U.A. e Japão, além de alguns países europeus onde a tecnologia e infraestrutura necessárias estão avançadas em relação aos demais. Automóveis convencionais com motor de combustão interna (MCI) são muito ineficientes do ponto de vista energético - apenas 16-17% da energia química contida no combustível é utilizada para movimentar o veículo (BARAN, 2012).

Existem diversas fontes de ineficiência energética nos veículos convencionais, onde há perda de energia até mesmo com o veículo em *stand by*. Veículos elétricos híbridos utilizam um motor elétrico movido pela energia armazenada em baterias além do motor de combustão interna e têm eficiência de 30% a 40% maior do que os de combustão interna tanto do ponto de vista energético quanto ambiental (MACLEAN; LAVE, 2003; CIBOROWSKI et al., 2007; SOVACOOOL; HIRSH, 2009; FONTARAS; PISTIKOPOULOS; SAMARAS, 2008), mas são mais caros e com mecânica mais complexa que os equivalentes convencionais (MACLEAN; LAVE, 2003; SOVACOOOL; HIRSH, 2009).

A vantagem dos elétricos híbridos é que utilizam o motor elétrico em baixa rotação e enquanto for conveniente, acionando o MCI apenas nas situações necessárias. Além disso,

o MCI pode servir para sustentar a bateria do veículo atuando como gerador de energia para o motor elétrico. Neste trabalho nos atentaremos aos veículos *plug-in*, recarregados quando conectados à rede elétrica buscando analisar o impacto que causam ao consumidor. O período em que o veículo é recarregado afeta mais a rede do que o usuário (LONGO; FOIADELLI; YAÏCI, 2019), sendo necessária a criação de incentivos para que os períodos de recarga favoreçam também as concessionárias.

Apesar de apresentarem vantagens sobre os veículos à combustão convencionais se considerarmos fatores econômicos e ambientais, veículos híbridos e elétricos enfrentam barreiras para sua utilização e popularização. No Brasil, a falta de incentivo, demora no retorno do investimento, falta de infraestrutura adequada, são fatores que dificultam a disseminação dos veículos elétricos visto que poucos consumidores querem ser os primeiros a adotar novas tecnologias, especialmente quando estão envolvidos dispêndios muito altos de capital (BARAN, 2012).

Um dos fatores determinantes para o uso de veículos elétricos principalmente em países desenvolvidos ou em desenvolvimento é a independência em relação ao petróleo importado (BARAN, 2012). Desde 1973 o consumo de petróleo tem características predominantemente crescentes e o maior uso se dá no setor de transportes. Além disso, o valor do petróleo varia constantemente devido a situações geopolíticas, econômicas e conjunturais.

O setor de transportes tem grande importância para o desenvolvimento econômico, redução do isolamento rural e aumento da qualidade de vida para aqueles que se deslocam para trabalhar ou praticar lazer. Quando observamos a crescente demanda por veículos individuais e coletivos percebemos que este setor é indispensável e necessita de atenção especial. Portanto, a substituição do petróleo por fontes energéticas de acesso residencial é benéfica ao consumidor e ao meio ambiente.

A metodologia de trabalho adotada consistiu inicialmente em fazer um apanhado de artigos e teses com tema próximo ao proposto nesta monografia. Foram selecionados trabalhos nacionais e internacionais que propusessem maneiras de integrar geração distribuída e o uso de veículos elétricos apresentando suas vantagens e desvantagens além de dissertar sobre sua crescente disseminação e o porquê disso. Feito isto, extraíram-se as informações relevantes e conclusões encontradas nas pesquisas e elaborou-se a forma de análise que foi adotada.

O consumidor de energia, a quem é direcionado este trabalho, é a pessoa física ou jurídica, ou comunhão de fato ou de direito, legalmente representada, que solicite o fornecimento de energia elétrica e/ou o uso do sistema elétrico à distribuidora e assume a responsabilidade pelo pagamento das faturas e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL, assim vinculando-se aos contratos de fornecimento, de uso e de conexão ou de adesão (ANEEL, 2016).

Além dos tipos de conexão (monofásica, bifásica ou trifásica) há também a presença de cargas de naturezas distintas: residenciais, comerciais, industriais, rurais, iluminação pública e serviço público. Neste trabalho atentou-se ao consumidor residencial que apresenta um consumo praticamente constante durante o dia inteiro com um aumento no fim da tarde e um pico de demanda que ocorre devido ao retorno da população às residências após o dia de trabalho (entre 18 e 21 horas), sendo a maior causa de gasto deste consumidor o chuveiro elétrico. Foram observadas projeções de consumo mensais tendo em vista o objetivo de analisar a utilização da energia elétrica e não o comportamento do consumidor durante a utilização.

1.1 Fundamentação Teórica

Para a realização de análises e estimativas foi necessário compreender alguns conceitos sobre as principais áreas abordadas neste trabalho. A seguir apresenta-se uma breve fundamentação teórica para esclarecimento.

1.1.1 Geração distribuída

A totalidade das usinas com potência nominal inferior a 5 MW conectadas à rede de distribuição constituem a chamada geração distribuída, dividida em:

- Microgeração distribuída: sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados a rede com potência de até 75 kW;
- Minigeração distribuída: sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados a rede com potência superior a 75 kW e inferior a 5 MW (PORTAL SOLAR, 2021).

A energia é gerada próxima ao local de consumo, em sua maioria de fontes renováveis de energia como solar, eólica e biomassa, em pontos espalhados pelo território. Sua disseminação tem crescido nos últimos anos.

1.1.2 Fontes renováveis de energia

As fontes de energia podem ser renováveis ou não renováveis, essa divisão ocorre devido ao tempo de regeneração da fonte em contrabalanço com o consumo. Fontes de energia não renováveis incluem combustíveis fósseis como petróleo, carvão e recursos nucleares; fontes renováveis derivam da luz do sol, do vento, da chuva, das marés, do calor geotérmico e biomassa. O uso de fontes renováveis de energia tem crescido no século XXI (LONGO; FOIADELLI; YAĬCI, 2019).

1.1.3 Veículos elétricos

Veículos com motores elétricos movidos a baterias recarregáveis são os chamados veículos elétricos. Além das vantagens de custo de abastecimento e eficiência de motores, os veículos elétricos são uma opção limpa em relação aos veículos movidos a combustão. A não emissão de CO_2 que vem da não necessidade da queima de combustível e não utilização de petróleo tornam os veículos elétricos muito atrativos, porém, essa tecnologia ainda está longe de ser acessível, por isso os carros a combustão têm maioria absoluta no mercado.

1.1.4 Estudo de viabilidade econômica

O estudo de viabilidade econômica tem por objetivo auxiliar na tomada de decisão de investir ou não em um projeto. Após verificar a viabilidade técnica se iniciam as análises de atratividade financeira. Os indicadores de análise são divididos em dois grupos: indicadores de rentabilidade do projeto e indicadores associados ao risco do projeto (CLEMENTE; SOUZA, 2008). Na primeira categoria encontra-se o Valor Presente Líquido (VPL) - traz para o presente os fluxos de caixa (positivos e negativos) de um projeto de investimento - e na segunda estão a Taxa Interna de Retorno (TIR) - avaliação do percentual de retorno de um projeto de investimento - e o Período de Recuperação do Investimento (*payback*), entre outros.

1.2 Revisão Bibliográfica

No artigo (LONGO; FOIADELLI; YAÏCI, 2019) foi simulada a integração de geração distribuída e veículos elétricos a um residencial inteligente (*smart village*). Foram propostos quatro cenários, um caso base onde não haviam veículos elétricos e três estudos de caso com diferentes cenários de carregamento dos VE's. Com uma otimização global, baseada em algoritmo genético aproximado, encontrou-se a energia total de painéis fotovoltaicos e microturbinas de gás cogeneradoras que minimizassem o custo anual de energia no residencial para os quatro cenários. Concluiu-se que o uso de VE's introduziria economias consideráveis em relação ao caso base e a escolha de um cenário de carregamento teria um impacto insignificante de uma perspectiva puramente econômica.

Em (PATERAKIS et al., 2016), analisou-se a otimização da operação de uma vizinhança de residências inteligentes a fim de minimizar o custo total de aquisição de energia. As residências compreendiam veículos elétricos, aparelhos controláveis, armazenamento de energia e geração distribuída. As transações de energia foram precificadas com base em princípios de *net metering*, considerando um esquema tarifário de preço dinâmico. Objetivou-se incentivar o consumidor a adquirir novos hábitos quanto ao consumo energético, visto que novas cargas serão acrescentadas às residências com o avanço das tecnologias e modernização das instalações, através de uma perspectiva econômica.

Para isso, propôs-se uma estratégia de coordenação energética de modo a satisfazer os limites de capacidade do transformador de distribuição e, em simultâneo, promover seu uso economicamente justo pelas famílias.

(MANJREKAR, 2016), em seu artigo, propõe um sistema de comunicação entre sistemas inteligentes distribuídos. Pensando nos impactos que o uso de veículos elétricos causarão nas redes e em como as concessionárias devem lidar com as novas demandas, defende-se que a automatização da configuração de sistemas distribuídos inteligentes seja a chave para que os sistemas funcionem bem juntos. Para isso a comunicação entre eles é ideal, servindo para direcionar e planejar o despacho de energia aos clientes de forma que a rede não seja sobrecarregada. Desenvolveu-se, então, um algoritmo multiplataforma unificado e simples visando melhorar a comunicação e controle da concessionária sobre os hábitos de carga e descarga dos clientes.

Usando estes artigos como referência estabeleceram-se alguns objetivos que proporcionaram o desenvolvimento deste trabalho.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo Geral*

Avaliar os impactos e mudanças na utilização de energia elétrica diante do crescimento da geração distribuída e do uso de veículos elétricos, partindo de dados reais e da criação de cenários.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre trabalhos semelhantes ao tema proposto.
- Obter dados de unidades consumidoras para a realização das análises.
- Construção de modelos para a simulação de cenários baseados nas unidades estudadas.
- Estudo de viabilidade econômica dos cenários simulados.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho está organizado da seguinte forma: em Fundamentação teórica, são apresentados conceitos dos temas centrais desta análise. Metodologia tem o foco na metodologia de análise de dados e criação de cenários com e sem o uso de geração distribuída e/ou veículos elétricos. Os resultados de simulação são fornecidos e discutidos em Resultados experimentais. Finalmente, as conclusões obtidas são descritas na seção Conclusão.

2 METODOLOGIA

Foram escolhidas quatro unidades consumidoras (UC's) residenciais de regiões distintas de uma mesma cidade e estudou-se o padrão de consumo a partir de faturas de energia e foram feitas projeções estimadas de consumo de energia mensal durante um ano através de um modelo no *software* MATLAB para se obter aproximações que permitissem avaliar o cenário atual de utilização de energia elétrica e de um futuro próximo, expandindo as análises.

De posse das características de consumo destas residências foi calculado o consumo médio e o desvio padrão mensalmente. Com estes valores, é possível determinar um intervalo de tolerância onde poderão ser encontrados consumidores com características semelhantes. Deste modo, realizando as análises para estes intervalos, os resultados refletirão a população de consumidores deste perfil. Foram criados cenários onde estes consumidores teriam ou não um veículo elétrico e/ou painéis fotovoltaicos instalados na residência. Na seção 2.1 são apresentados os dados e as projeções de consumo com as estatísticas mensais, que serão utilizados como referência para a análise dos cenários. Para a seção 3.1, foi estimado o uso e carregamento de um veículo elétrico em substituição de um veículo à combustão. Na seção 3.2, considerou-se a utilização de geração distribuída fotovoltaica, que será dimensionada para as projeções média, inferior e superior. Por fim, para a seção 3.3, integrou-se a geração distribuída ao uso de veículo elétrico. Nestes cenários, observaram-se as alterações no consumo de energia e realizou-se uma análise econômica para verificar a viabilidade e padrões necessários para a implantação das proposições.

Para alguns casos, foi considerada a possibilidade de financiamento do investimento, calculado baseado na Tabela *Price*, também conhecida como "Sistema Francês de Amortização", que tem por principal característica apresentar parcelas iguais. Utilizou-se um modelo no "Excel" onde foram aplicadas taxas praticadas no mercado atual para estimar o valor das parcelas do financiamento.

Com a determinação do investimento, financiamento e da economia para cada caso, foi possível determinar um fluxo de caixa para executar os cálculos dos indicadores financeiros mais usuais como o TIR, VPL e Retorno Sobre Investimento (ROI - *Return Over Investment*).

2.1 Dados de consumidores de referência

Foram analisados 3 cenários utilizando algumas informações técnicas semelhantes que permitissem a união e comparação dos resultados.

Para cada consumidor foi feita uma projeção de consumo baseada no consumo de 12 meses a exemplo de (FREITAS et al., 2013). Não foi considerado nenhum tipo de

alteração de carga, foram utilizados os dados de leitura da concessionária para observar as características que o consumidor adquiriu neste período e como refletiram nas respostas das simulações. Na Tabela 1 são apresentados os dados coletados dos consumidores atendidos em baixa tensão e rede bifásica.

Tabela 1 – Consumo das UC's

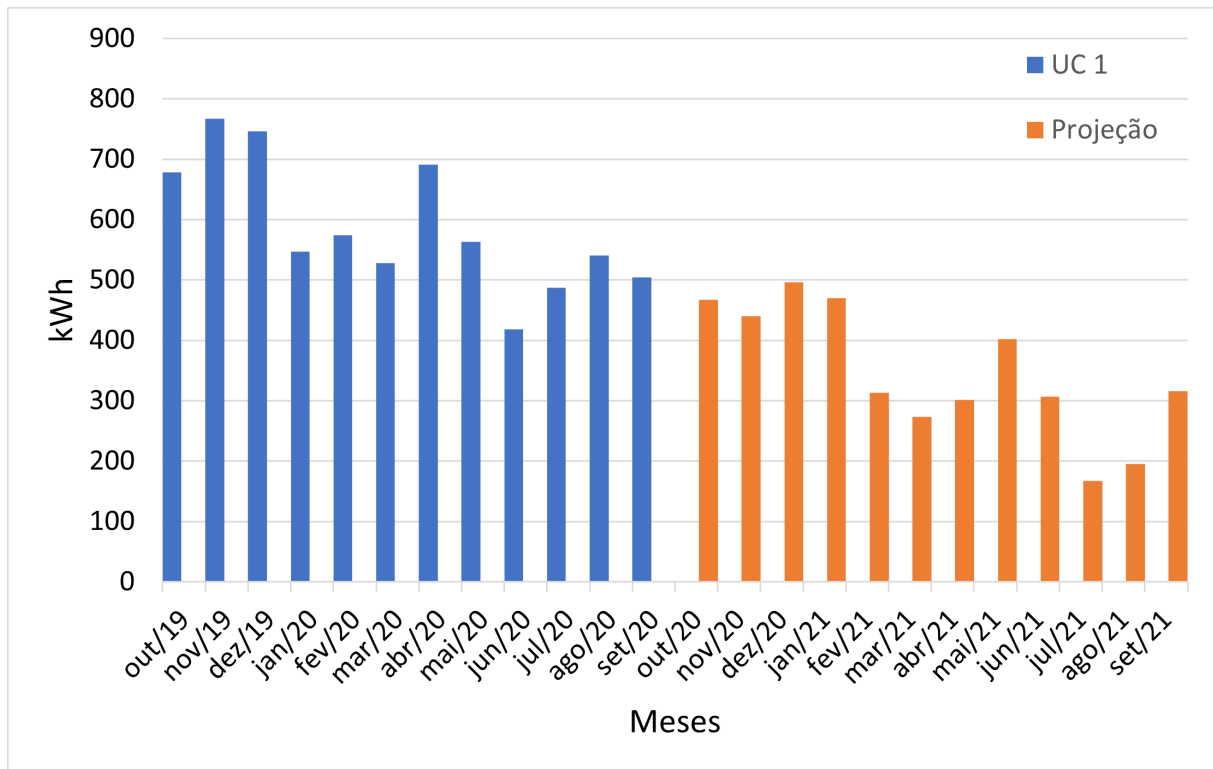
Consumo (kWh)				
Meses	Consumidor 1	Consumidor 2	Consumidor 3	Consumidor 4
out/19	678	308	540	242
nov/19	767	316	548	251
dez/19	746	289	608	278
jan/20	547	329	555	215
fev/20	574	315	660	315
mar/20	528	346	657	231
abr/20	691	314	700	178
mai/20	563	211	581	205
jun/20	418	244	525	204
jul/20	487	281	521	185
ago/20	541	332	600	213
set/20	504	737	753	258

O consumidor 1 apresentou um padrão de consumo decrescente no ano em questão, por isso a projeção seguiu esse padrão, demonstrando um consumo decrescente ao longo do tempo (Figura 4). Entende-se que nem sempre será assim por conta, principalmente, do uso de aparelhos condicionadores de ar e aquecedores de água visto se tratar de um cliente residencial, porém a média de consumo se manteve próxima a 300 kWh (Tabela 2). Outro motivo para a redução observada são os aumentos no valor da energia elétrica. O consumidor passa a se controlar para manter sua conta em um valor acessível e acaba evitando aparelhos com maior consumo energético.

Os dados coletados do consumidor 2 (Figura 5) apontam que houve um grande aumento na demanda de energia elétrica de um mês para outro, isto pode ter sido causado pela instalação de novos aparelhos elétricos com alto consumo energético, aumento do número de pessoas na residência, época de frio (maior uso de chuveiros elétricos e aquecedores), época de calor (maior uso de condicionadores de ar), entre outros. Considerando a primeira hipótese obteve-se uma perspectiva de que o padrão de consumo será elevado e este consumidor não estará mais em uma faixa de consumo de 200 kWh a 300 kWh, mas sim de 400 kWh a 600 kWh por mês.

O consumidor 3, diferentemente dos consumidores 1 e 2 que tiveram mudanças no padrão de consumo, apresenta um consumo estável e pode-se dizer que se mantém constante no período simulado de um ano além do período de dados coletados. É também o consumidor com maior consumo de energia neste estudo, podemos verificar na Figura 6 que seu consumo está sempre acima de 500 kWh. Em condições de conforto, onde o

Figura 4 – Dados e Projeção de consumo - Consumidor 1



Fonte: Do autor

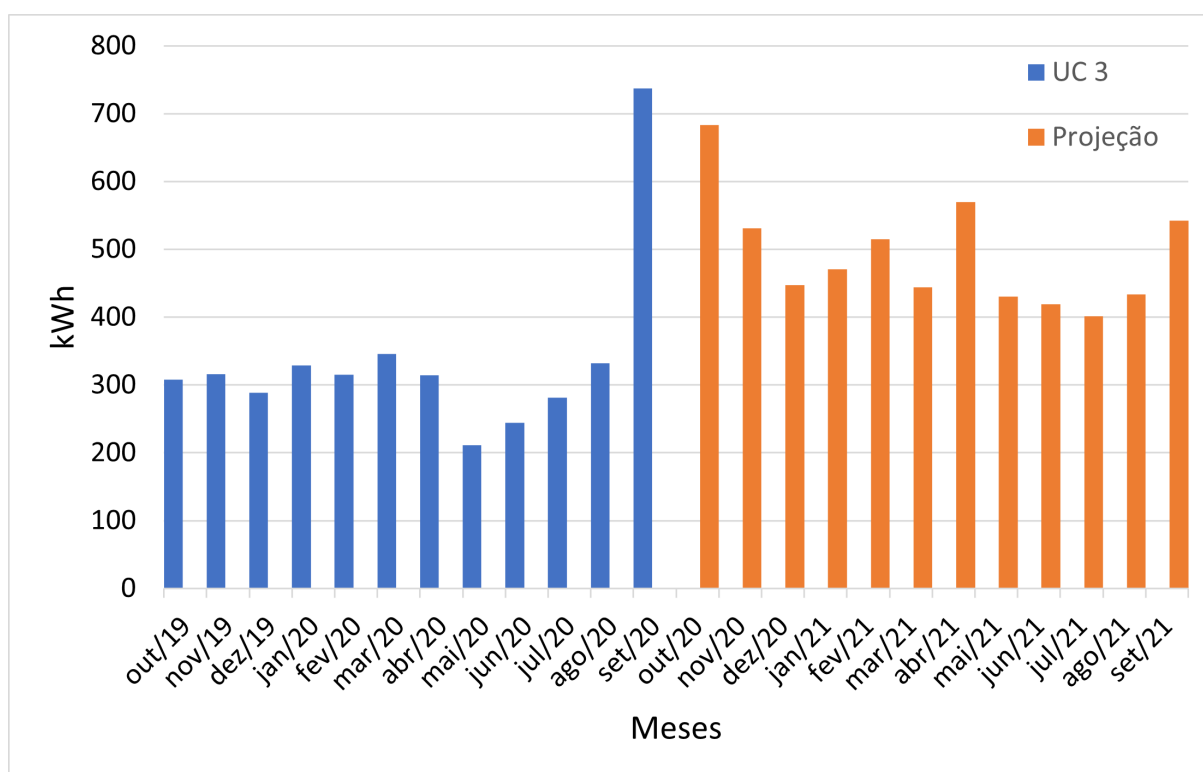
consumidor está satisfeito com sua realidade de utilização energética e valor a pagar, obtêm-se características mais constantes como esta.

O consumidor 4 apresentou uma demanda mais baixa, chegando no máximo a 315 kWh (Figura 7). Nos últimos meses teve características levemente decrescentes em seu consumo, porém manteve sua margem constante. Este caso assemelha-se ao caso do consumidor 1, porém com consumo menor e certa regularidade. Com isso podemos concluir que aqueles com menor padrão de consumo tendem a mantê-lo ou controlá-lo evitando maiores gastos.

A projeção de consumo estimada nas simulações é apresentada na Tabela 2. Utilizou-se esta projeção para calcular o consumo médio e o intervalo de tolerância mensal, com 95% de confiabilidade, de modo a estimar a faixa de consumo da população de consumidores representados pelos dados amostrados (Figura 8).

Foi utilizada uma distribuição gama para representar a população dos consumidores semelhantes à estes quatro consumidores amostrados. A distribuição foi parametrizada com fator de forma correspondente à quantidade de semanas no mês. O fator de escala é correspondente a quantidade de kWh consumidos por semana, obtido com base na média dos consumos de cada mês. Portanto, definida a distribuição de cada mês pode ser calculado o intervalo de tolerância dos consumos, com 2,5% de probabilidade para cada

Figura 5 – Dados e Projeção de consumo - Consumidor 2



Fonte: Do autor

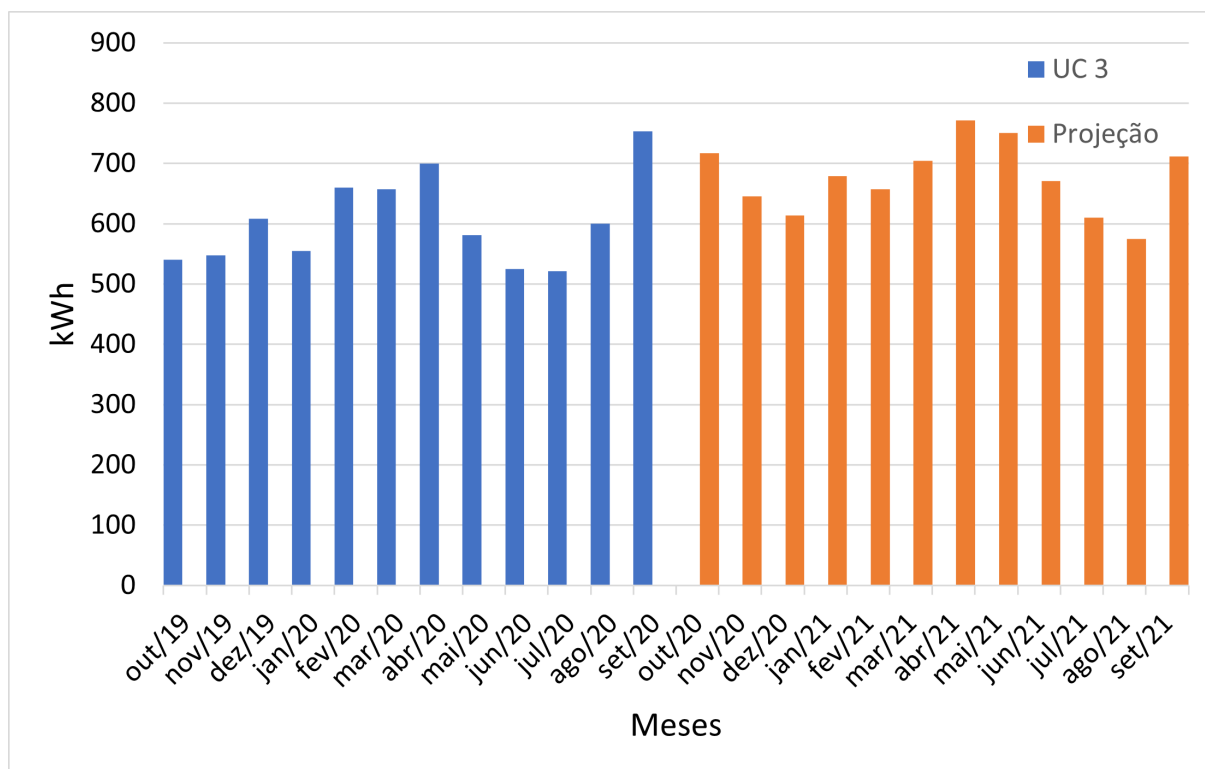
cauda da distribuição.

Tabela 2 – Projeções de consumo UC's

Meses	Consumo (kWh)			
	Consumidor 1	Consumidor 2	Consumidor 3	Consumidor 4
out/20	467	683	717	242
nov/20	440	531	645	196
dez/20	496	447	614	203
jan/21	470	471	679	211
fev/21	313	515	657	182
mar/21	273	444	704	242
abr/21	301	570	771	194
mai/21	402	430	751	119
jun/21	307	419	671	148
jul/21	167	401	610	165
ago/21	195	434	575	112
set/21	316	542	712	181

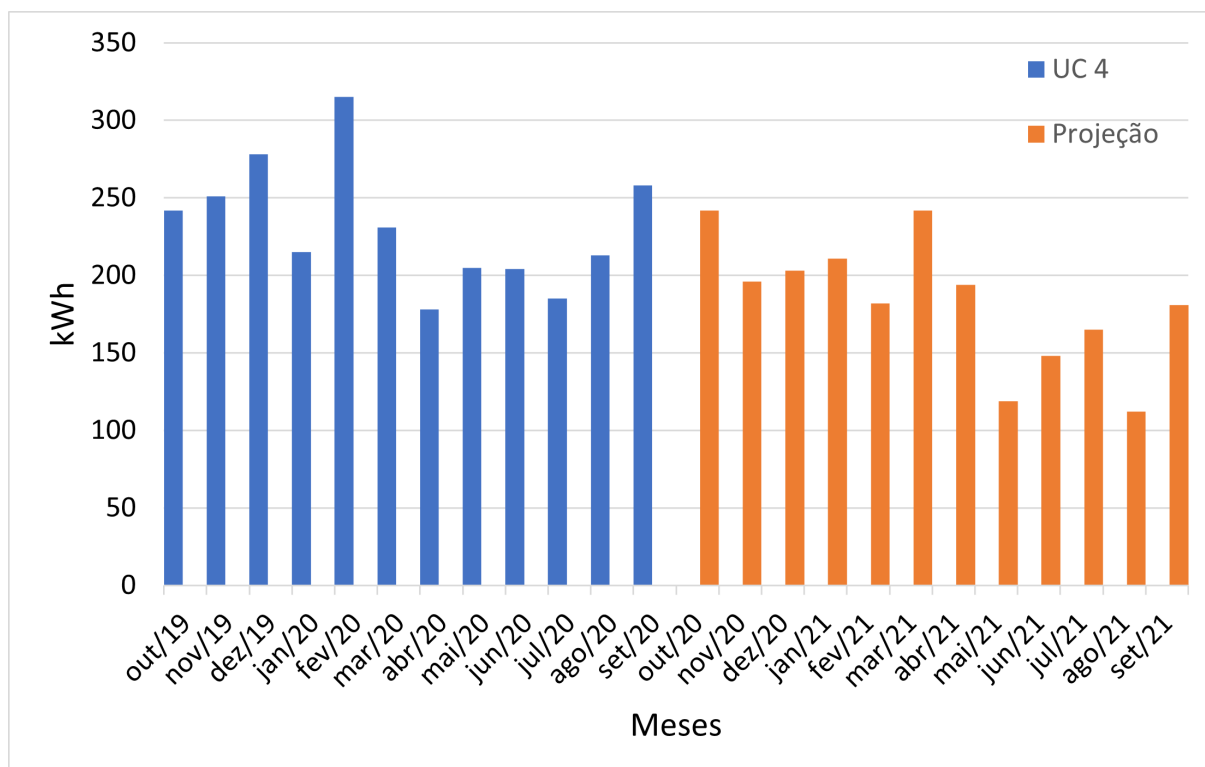
As simulações dos cenários propostos foram executadas para estes valores de consumo mínimo, médio e máximo de maneira que os resultados obtidos tenham maior abrangência (Tabela 3).

Figura 6 – Dados e Projeção de consumo - Consumidor 3



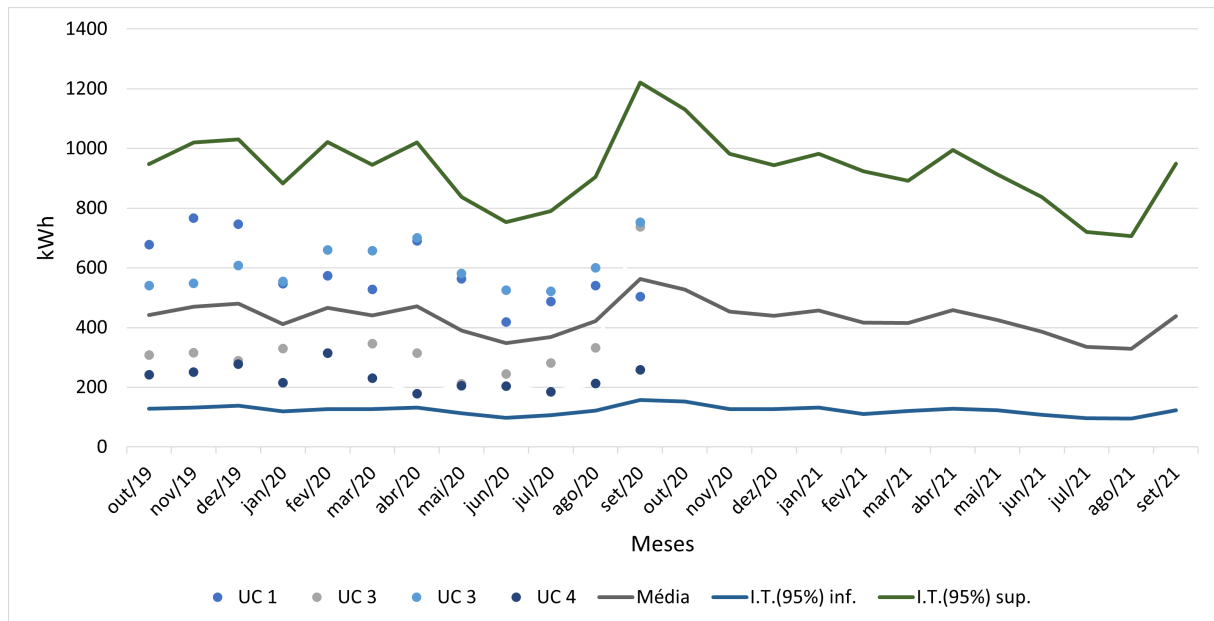
Fonte: Do autor

Figura 7 – Dados e Projeção de consumo - Consumidor 4



Fonte: Do autor

Figura 8 – Dados de consumo e estatísticas



Fonte: Do autor

Tabela 3 – Dados de consumo médio

Consumo (kWh)				
Meses	Média	Desvio Padrão	I.T.(95%) inf.	I.T.(95%) sup.
out/19	442	203	128	948
nov/19	471	235	132	1020
dez/19	480	234	139	1030
jan/20	412	168	119	883
fev/20	466	178	127	1021
mar/20	441	189	127	945
abr/20	471	265	132	1021
mai/20	390	210	113	837
jun/20	348	150	98	754
jul/20	369	162	106	791
ago/20	422	180	122	904
set/20	563	233	158	1221
out/20	527	220	152	1131
nov/20	453	191	127	982
dez/20	440	173	127	944
jan/21	458	192	132	982
fev/21	417	211	110	924
mar/21	416	212	120	892
abr/21	459	261	129	995
mai/21	426	258	123	913
jun/21	386	220	108	837
jul/21	336	214	97	720
ago/21	329	213	95	706
set/21	438	236	123	949

2.2 Especificação dos cenários analisados

2.2.1 Cenário 1 - Utilização de Veículos Elétricos

Neste cenário, considerou-se que os consumidores adquirissem veículos elétricos que permitam o seu carregamento no circuito elétrico residencial. Isto implica em um aumento no consumo de energia elétrica, mas, em contrapartida, o consumo de combustíveis fósseis é reduzido. Há um benefício ambiental em função da substituição dos veículos de combustão por veículos de emissão zero, porém neste trabalho não foi analisado o impacto ambiental. O foco deste trabalho está no aspecto de viabilidade técnica e econômica no contexto atual e outros trabalhos podem ser feitos para novos contextos e também com a ênfase ambiental.

Simulou-se então o impacto de um veículo elétrico no consumo de energia médio e nos limites superior e inferior considerando a projeção de um ano, executada na seção 2.1. Este cenário foi calculado utilizando especificações típicas de um veículo elétrico (CAOA CHERY, 2021):

- Capacidade da bateria (C_b): 53,5 kWh.
- Consumo da bateria (C_e): 0,16 kWh/km.
- Eficiência de carga e descarga (η): 80%.

Com base nessas informações, pode-se calcular a energia necessária para o carregamento da bateria E_{ch} , expressa em kWh através da Equação 1, onde d é a distância percorrida.

$$E_{ch} = \frac{d \cdot C_e}{\eta} \quad (1)$$

Como apresentado em (LONGO; FOIADELLI; YAÏCI, 2019), o horário de carregamento independe para o consumidor em análises quantitativas e econômicas. Não é favorável para a rede elétrica que o carregamento ocorra no horário de ponta, pois coincide com o de pico de demanda residencial, então a carga na rede é elevada drasticamente ((EPE, 2020)). Como esta análise é voltada ao consumidor residencial, não foram considerados postos tarifários. É vantajoso para o usuário carregar a bateria no menor tempo possível, garantindo um estado de carga suficiente para conduzir o veículo sempre que necessário.

Para a análise econômica do retorno do investimento (ROI) após aquisição de um VE, foi necessário considerar um veículo à combustão similar e utilizado da mesma forma, para fazer um comparativo que determinará o valor investido e a economia. Ou seja, o investimento considerado não é o preço final de mercado do VE, mas é a diferença de preço em relação ao veículo à combustão da mesma categoria, porque é pressuposto que o veículo

é uma necessidade do consumidor e que teria que ser adquirido. No caso da economia, de forma semelhante, o consumo de combustível seria uma despesa obrigatória diante da necessidade do consumidor, que poderia reduzir esta despesa se optar por investir no veículo elétrico.

Foi escolhido um veículo com modelo elétrico e à combustão: o Chery Arrizo 5e e o Chery Arrizo 5. O preço médio atual do litro de gasolina, segundo a (ANP, 2021), é de R\$ 5,68 e da energia elétrica, segundo a (ANEEL, 2021), R\$ 1,1529 /kWh, inclusos os impostos, a bandeira vermelha e a iluminação pública (no pior caso). O veículo a combustão anda em média 11 km/L no perímetro urbano, segundo o fabricante. O elétrico custa R\$ 160.650,00 segundo a tabela FIPE, enquanto o equivalente à combustão custa R\$ 78.731,00.

Foram ainda considerados os seguintes dados:

- Investimento: R\$ 81.919,00 referente a diferença de valor entre os modelos do veículo;
- Financiamento: valor total do investimento financiado com taxa de juros de 0,89% a.m., em 60 meses;
- Economia mensal: calculada a partir do custo de manutenção informado de R\$ 2.257,00 até os 60.000 km rodados para o modelo elétrico e R\$ 4.480,93 para o modelo à combustão. Portanto, a diferença em manutenção do veículo elétrico será de $\frac{(4.480,93 - 2.257)}{60} = \text{R\$ } 37,06$ a cada 1.000 km rodados.

Pôde-se executar a análise financeira através de um modelo no "MatLab" onde os indicadores TIR, VPL e ROI foram calculados em função dos quilômetros rodados mensalmente.

Segundo a (KBB, 2021), os veículos rodam cerca de 12.900 km em seu primeiro ano, no Brasil. Após esse período, a distância percorrida tende a diminuir. Considerando uma média de 12.000 km por ano, o consumidor percorreria 1.000 km por mês, então os gastos podem ser calculados conforme a Equação 1 e as Equações 2 e 3.

$$G_C = \frac{km_percorridos}{consumo_combustível} \times custo_{combustível} = \frac{1000}{11} \times 5,68 = \text{R\$}516,36 / \text{mês} \quad (2)$$

$$G_E = E_{ch} \times custo_{eletricidade} = \frac{1000 \times 0,16}{0,80} \times 1,1529 = \text{R\$}305,80 / \text{mês} \quad (3)$$

Onde G_C é o gasto com combustível e G_E o gasto com energia elétrica demonstrando uma economia mensal média de R\$ 210,56 ao utilizar um veículo elétrico.

Pessoas que trabalham com o transporte podem circular até 3 vezes mais do que a média da população que utiliza o veículo apenas para deslocamento. Portanto, para estes casos, a viabilidade econômica tende a ser mais vantajosa, o que poderá ser observado nos resultados.

2.2.2 Cenário 2 - Geração Distribuída

Já para a geração distribuída considerou-se suprir o consumo médio mensal. Estimou-se a geração mensal média de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) que atendesse à demanda de energia de forma que o usuário passasse a pagar apenas a tarifa mínima estabelecida pela concessionária local. Os dados de irradiação solar média utilizados nos cálculos foram adquiridos no *site* do CRESESB para a cidade de Campo Grande - Mato Grosso do Sul (Tabela 4).

Tabela 4 – Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]

Estação: Campo Grande				
Município: Campo Grande, MS - BRASIL				
Latitude: 20,5° S				
Longitude: 54,749° O				
Distância do ponto de ref. (20,481044° S; 54,77562° O): 3,5 km				
Ângulo	Horizontal	Igual à latitude	Maior média anual	Maior mínimo mensal
Inclinação	0° N	20° N	19° N	26° N
Jan	5,62	5,13	5,17	4,91
Fev	5,71	5,46	5,48	5,30
Mar	5,34	5,46	5,46	5,40
Abr	4,79	5,34	5,32	5,41
Mai	3,99	4,78	4,75	4,94
Jun	3,74	4,68	4,64	4,88
Jul	3,90	4,79	4,76	4,97
Ago	4,75	5,49	5,47	5,62
Set	4,93	5,20	5,19	5,19
Out	5,41	5,28	5,30	5,16
Nov	5,87	5,41	5,45	5,20
Dez	6,19	5,56	5,60	5,29
Média	5,02	5,22	5,22	5,19
Delta	2,45	0,88	0,96	0,74

Fonte: (CRESESB, 2021)

Considerou-se para os cálculos os dados de maior média anual e alguns dados técnicos de equipamentos:

- Irradiação solar diária média mensal (H_{med}): 5,22 kWh/m².dia.
- Potência dos painéis fotovoltaicos (P_{pfv}): 400 Wp.

- Perdas na geração ($Perdas$): 20%.
- Cálculo da energia gerada mensalmente por um painel fotovoltaico E_{pfv} (área de 1 m^2):

$$E_{pfv} = \frac{30}{1000} \cdot \{H_{med} \cdot P_{pfv} \cdot [1 - Perdas]\} = 50,11 \text{ kWh} \quad (4)$$

- Quantidade de painéis no sistema n :

$$n = \frac{Consumo_{mm}}{E_{pfv}} \quad (5)$$

onde $Consumo_{mm}$ é o consumo médio mensal, expresso em kWh.

- Geração média mensal do sistema E_{sfv} :

$$E_{sfv} = n_{int} \cdot E_{pfv} \quad (6)$$

Para execução destes cálculos com resultados gráficos, utilizou-se um modelo no *software* "Excel" onde foram inseridos os dados técnicos e também os coletados na Tabela 4 e retornadas a potência do SFCR para compensação e também a expectativa de geração mensal média a partir dos dados de irradiação e georreferência. Obtiveram-se assim médias de geração para os limites de consumo nos cenários em que se considerou a instalação de sistemas fotovoltaicos.

2.2.3 Cenário 3 - União dos cenários 1 e 2

A viabilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos tende a melhorar para maior potência instalada, devido à diluição dos custos fixos. Portanto, ao incrementar o consumo de energia elétrica pela substituição do veículo à combustão por um veículo elétrico, isto pode melhorar a viabilidade da instalação do sistema fotovoltaico.

Com base nesta suposição, este terceiro cenário irá incrementar o consumo das unidades analisadas e permitirá um novo cálculo para o SFCR. Desta forma, dois investimentos distintos poderão ser unificados de modo a obter um cenário diferenciado.

2.3 Análise de Viabilidade Econômica

Nas análises econômicas os valores fixados foram:

- Perda de eficiência mensal: 0,06%.
- Taxa de Reajuste Inflacionário (ao ano): 3,84%.

- Taxa de Reajuste do CDI mensal: 0,53%.

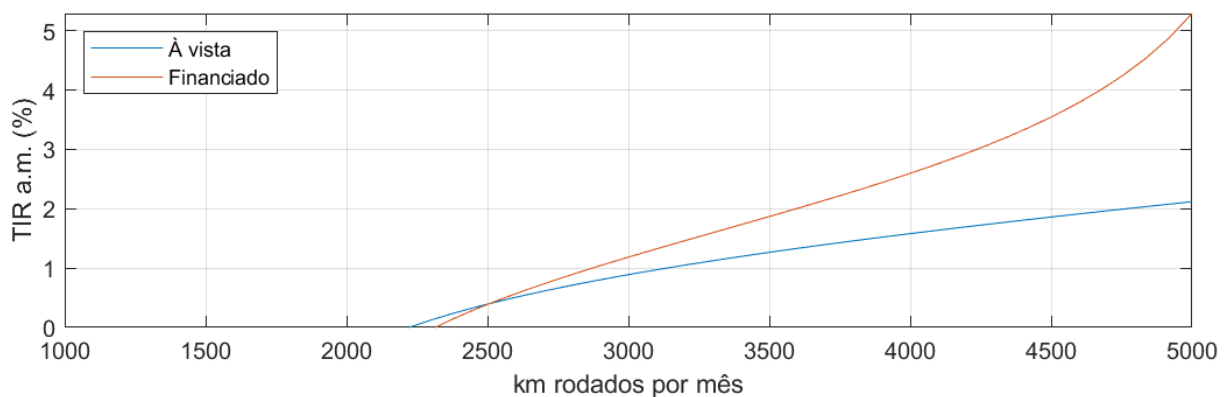
Com esses dados pode-se obter a Taxa Interna de Retorno (TIR a.m.) - taxa usada para avaliar a atratividade do investimento, o Valor Presente Líquido (VPL) - representa a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de um projeto de investimento em valores monetários atuais, e o *Payback* - tempo de retorno, em meses. Estes indicadores são considerados para gerar os gráficos que foram utilizados nas análises.

3 RESULTADOS

3.1 Cenário 1 - Substituição dos veículos de combustão por VE

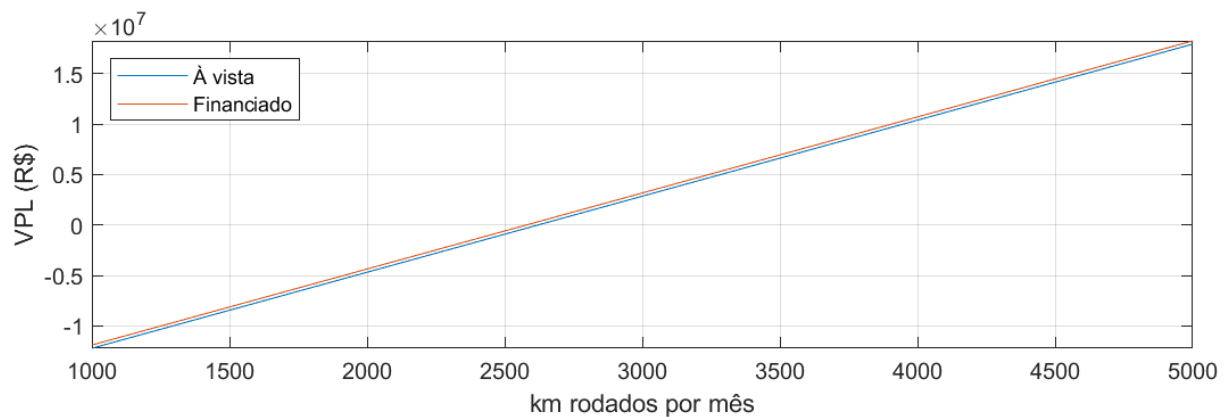
Utilizando as especificações descritas na subseção 2.2.1, foram obtidos os resultados econômicos inicialmente em função da quilometragem mensal. Na Figura 9, observou-se que o TIR é positivo a partir de 2.224 km rodados e o VPL (Figura 10) a partir de 2.620 km, para pagamento à vista. Obteve-se uma média de 2.422 km rodados por mês. Para esta quilometragem média rodada mensalmente, o ROI ocorreria em cerca de 125 meses (Figura 11).

Figura 9 – TIR a.m. - VE



Fonte: Do autor

Figura 10 – VPL - VE

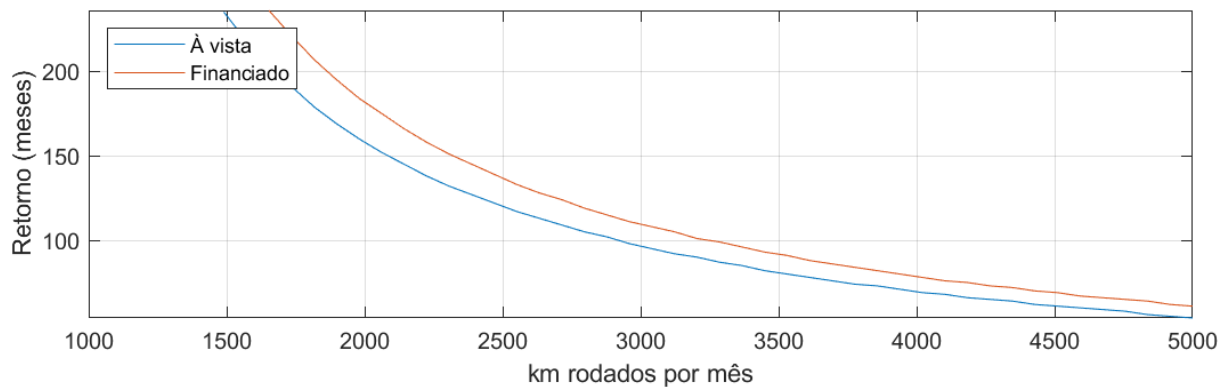


Fonte: Do autor

No caso de financiamento, o TIR é positivo a partir de 2.313 km rodados e o VPL a partir de 2.577 km. A média seria de 2.445 km rodados por mês e o ROI ocorreria em cerca de 140 meses.

Através da análise destes resultados, pôde-se observar que a aquisição de um veículo elétrico é mais vantajosa quanto maior a distância percorrida mensalmente devido à manutenção e combustível mais baratos.

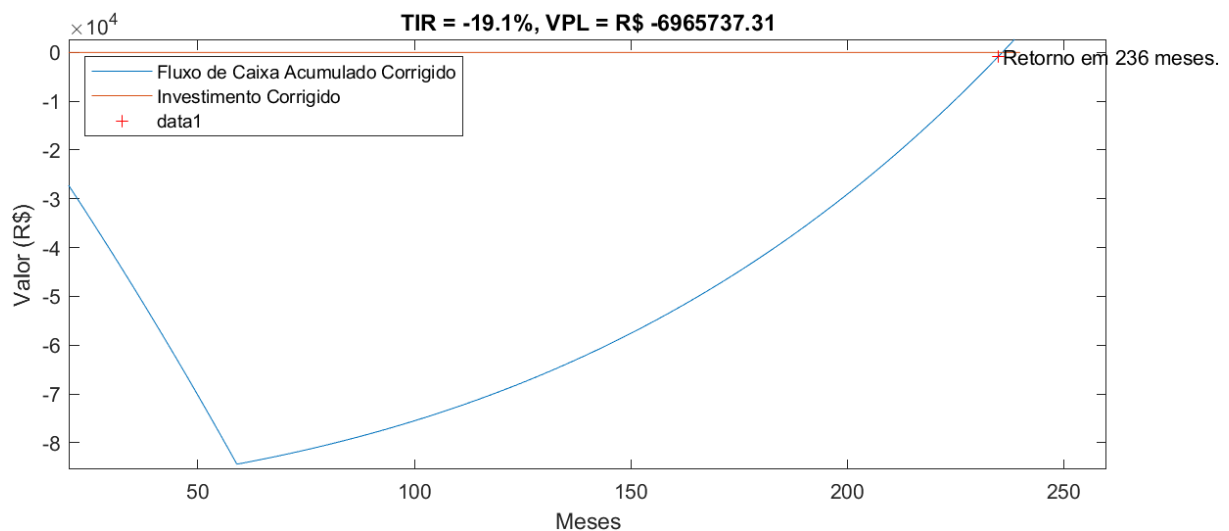
Figura 11 – Tempo de Retorno - VE



Fonte: Do autor

Analisou-se o ROI para a média nacional de 1.000 km rodados mensalmente. Pelas análises energéticas e financeiras realizadas, não seria um investimento viável, o consumidor não teria retorno sobre o investimento, pois os custos de parcelamento e manutenção não chegariam a um mínimo compensável. Estimou-se ainda que seria necessário que o consumidor dirigisse por pelo menos 1.653 km ao mês para obter o *payback* em menos de 20 anos (Figura 12). O apelo ambiental e busca por novas tecnologias fazem com que essa categoria de investimento seja aceita em circunstâncias específicas.

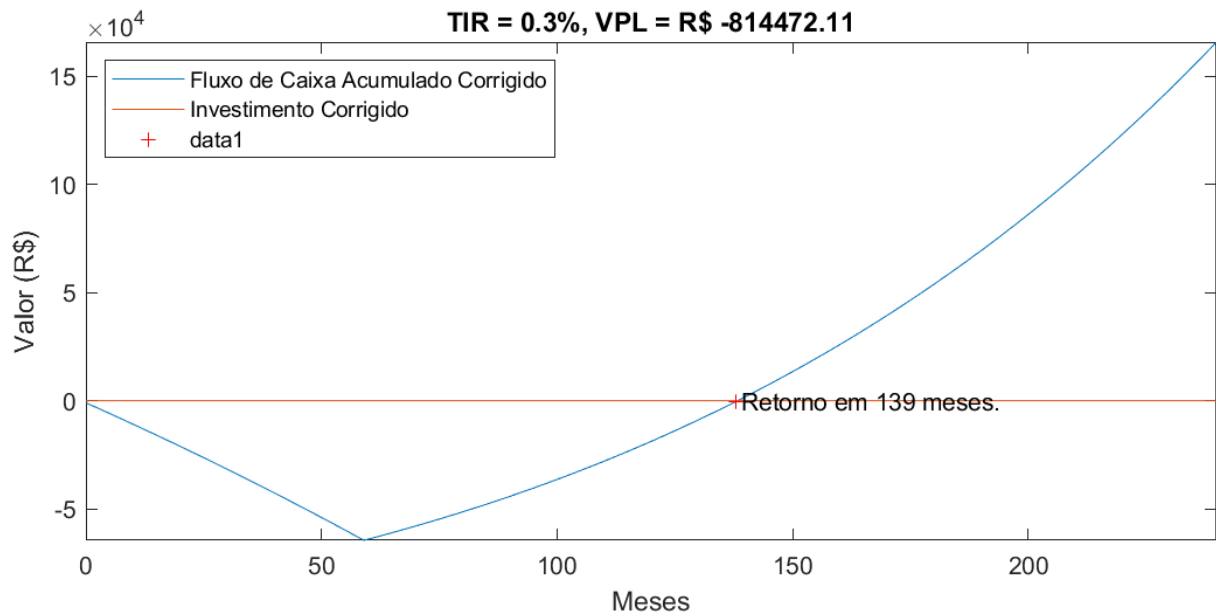
Figura 12 – Retorno financeiro para 1.653 km rodados por mês



Fonte: Do autor

Observou-se também, para uma aproximação possibilitada pelos *softwares* utilizados, o ROI para 2.469 km rodados ao mês (Figura 13), pouco a mais do que as médias encontradas nas análises. Pôde-se perceber um pequeno TIR e um VPL negativo apesar do retorno ocorrer em cerca de 140 meses.

Figura 13 – Retorno financeiro para 2.469 km rodados por mês



Fonte: Do autor

3.2 Cenário 2 - Instalação de SFCR

Para este cenário, utilizou-se a média do consumo projetado (Tabela 3) para estimar o consumo médio de um sistema fotovoltaico conectado a rede (SFCR) que atenda aos usuários de forma que eles passem a pagar apenas a taxa mínima conforme a categoria de contrato e concessionária local. As médias obtidas estão descritas na Tabela 5.

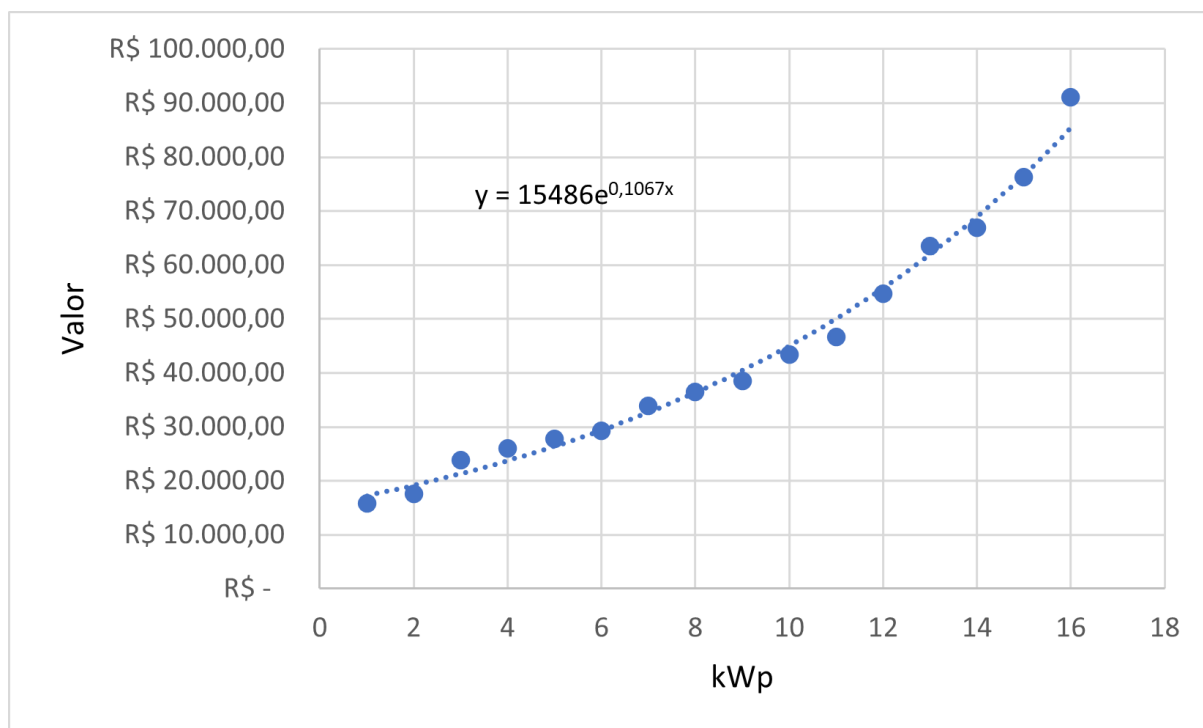
Tabela 5 – Consumo médio

Limites	Consumo médio (kWh)
Limite Inferior	120
Média	424
Limite Superior	915

Com os dados de irradiação obtidos em (CRESESB, 2021) (Tabela 4), a Equação 5 e a Equação 6, estimou-se a potência do SFCR necessária para suprir as médias de consumo, assim como sua geração média anual e obteve-se o valor aproximado do sistema através de um modelo baseado em pesquisas de mercado (PORTAL SOLAR, 2021) sobre o custo médio do kWp no Brasil (Tabela 6). Com base nos dados apresentados na pesquisa foi encontrada a equação característica da curva e através dela estimaram-se os custos (Figura 14).

A geração de energia estimada traria economia mensal de R\$ 177,22 R\$ 461,96 e R\$ 1.039,40 para os limites propostos, respectivamente, considerando as médias de consumo e o valor do kWh e desconsiderando a taxa mínima. Utilizando-se esses valores

Figura 14 – Equação da curva - SFCR



Fonte: Do autor

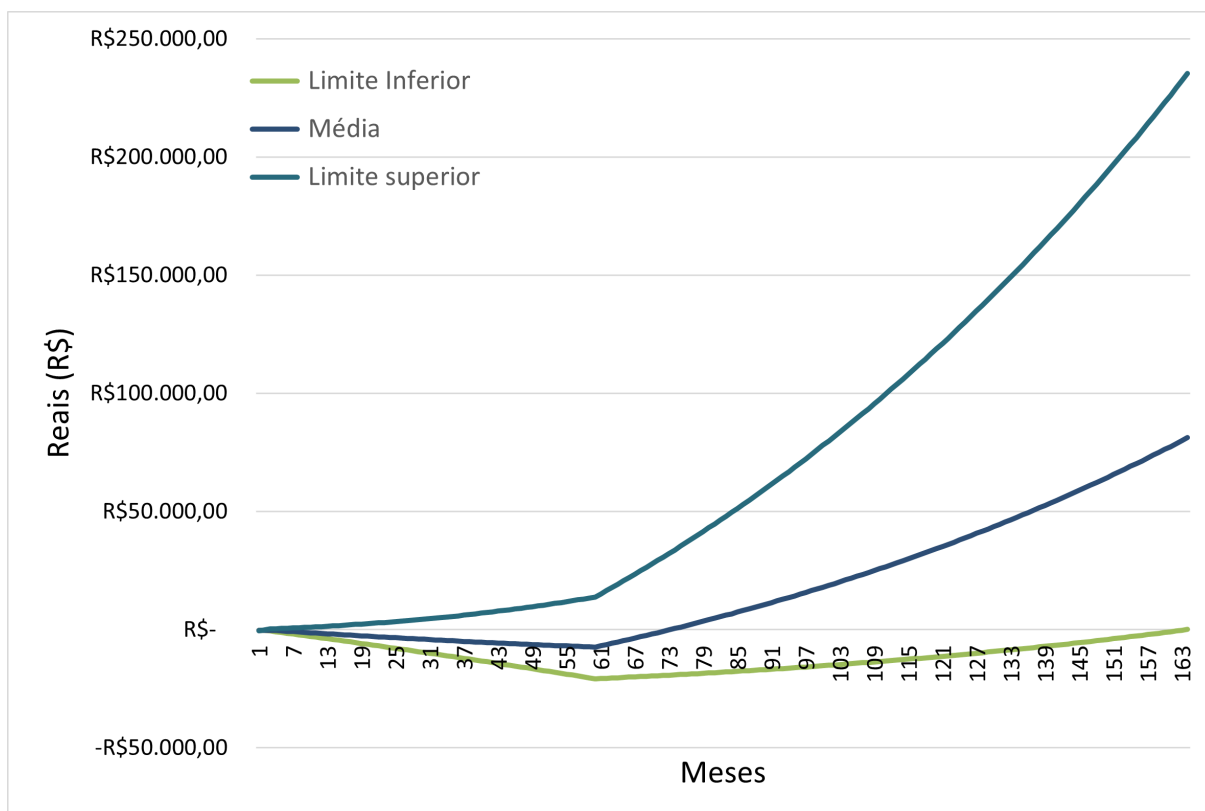
Tabela 6 – Potência, geração média e custo do SFCR

Limites	Potência do SFCR (kWp)	Geração média (kWh)	Valor (R\$)
Limite Inferior	1,2	150,33	17.601,36
Média	3,2	400,90	21.788,37
Limite Superior	7,2	902,02	33.387,33

como estimativa de economia mensal e taxas de 1,80% com carência de 3 meses para os financiamentos, obteve-se o gráfico do ROI abrangendo todas as simulações (Figura 15).

Este cenário apresenta uma possibilidade viável e crescente no Brasil e no mundo. Os sistemas fotovoltaicos, embora ainda pouco incentivados no Brasil (BARAN, 2012), são uma boa opção para consumidores com diversas características de uso energético e apresentam um retorno atrativo visto que se espera que os painéis fotovoltaicos funcionem com rendimento de pelo menos 80% de suas características nominais por cerca de 25 anos. Pelos resultados obtidos entende-se que há uma relação de maior benefício quanto maior o consumo, pois o retorno torna-se mais rápido.

Figura 15 – Retorno do Investimento (ROI) - SFCR



Fonte: Do autor

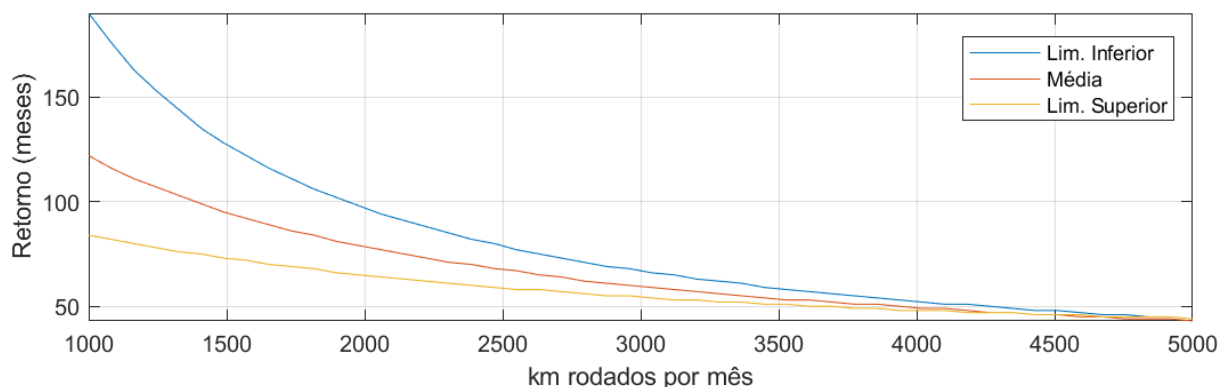
3.3 Cenário 3 - SFCR e VE

Neste último cenário, considerou-se uma intersecção entre os cenários anteriores, portanto os consumidores adquiririam um VE e utilizariam um sistema fotovoltaico para redução do gasto com energia elétrica. Utilizaram-se os dados da seção 3.2 como situação base, acrescidos em função dos quilômetros rodados conforme a seção 3.1.

Da mesma forma que na seção 3.1 considerou-se o investimento como a diferença entre os valores do veículo à combustão e do VE, porém foi somado o investimento no SFCR. Além disso, a economia mensal considerada foi equivalente ao que seria gasto em combustível utilizando um veículo à combustão e energia elétrica sem o sistema fotovoltaico, visto que o consumidor terá o sistema fotovoltaico suprindo todo o seu consumo energético, inclusive do carregamento do VE.

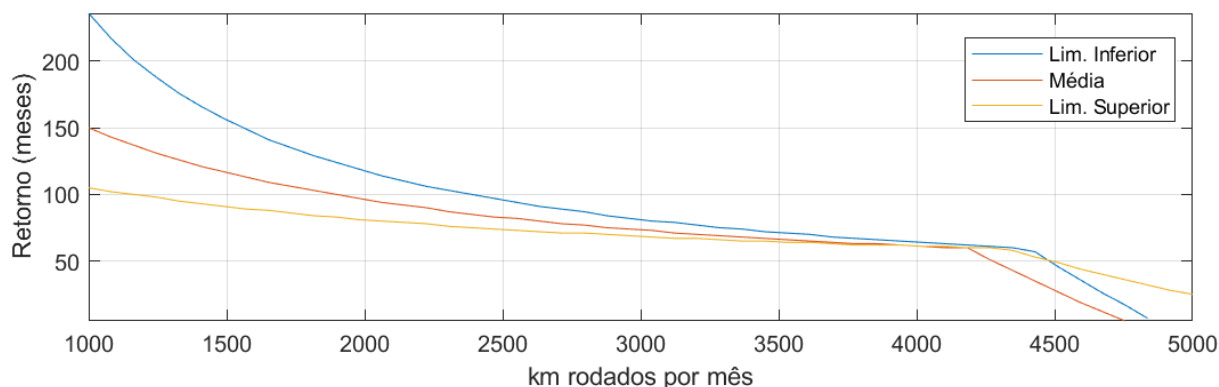
Os resultados obtidos estão divididos entre pagamento à vista (Figura 16) e pagamento financiado (Figura 17). Para os financiamentos foram consideradas as mesmas taxas já apresentadas anteriormente, com exceção da carência no caso dos sistemas fotovoltaicos, que foi retirada. Observou-se que há uma relação de maior benefício quanto maior o valor do investimento e distância percorrida mensalmente. Isso deve-se ao fato de que a compensação dos sistemas fotovoltaicos será maior e os custos de manutenção de

Figura 16 – Retorno do Investimento (ROI) - SFCR e VE (à vista)



Fonte: Do autor

Figura 17 – Retorno do Investimento (ROI) - SFCR e VE (financiado)



Fonte: Do autor

um VE representam uma pequena parcela dos gastos frente ao consumo energético e/ou parcelas do financiamento.

Através da análise dos dados sobrepostos pôde-se observar que acima de 4.000 km rodados os consumidores que estão na média teriam vantagem em relação ao retorno, porém, para a média de rodagem nacional (1.000 km/mês), aqueles com maior consumo se destacam.

3.4 Comparativo entre os cenários

Após a elaboração e análise dos cenários criados pôde-se verificar suas vantagens e desvantagens, o que levou a um comparativo buscando encontrar a melhor opção dentre eles. As unidades consumidoras na situação real foram utilizadas como base para todo o estudo, na seção 2.1 estimaram-se as possíveis características de consumo que seriam assumidas pelos consumidores a partir dos dados coletados. Nos demais cenários, as projeções foram modificadas para que esta comparação fosse possível. Os resultados estão resumidos na Tabela 7 considerando 2.422 km rodados por mês, mínimo com retorno

positivo encontrado na seção 3.1.

Tabela 7 – Comparação de indicadores entre os cenários analisados

Limites	Com VE			Com SFCR			VE e SFCR		
	TIR	VPL	Retorno	TIR	VPL	Retorno	TIR	VPL	Retorno
Limite Inferior	0,29	-1.490.000,00	124	—	-1.247.302,79	—	1,27	8.823.000,00	81
Média	0,29	-1.490.000,00	124	2,75	1.371.181,38	74	1,61	15.320.000,00	68
Limite Superior	0,29	-1.490.000,00	124	47,21	6.085.068,21	3	1,92	24.580.000,00	59

O cenário 1 mostrou-se desfavorável em relação ao caso base. O investimento em um VE não traria retorno para o consumidor por pelo menos 10 anos (considerando a melhor média de rodagem com retorno — Figura 11). A economia gerada pela não utilização de combustíveis fósseis e manutenções mais baratas seria minimizada pelos maiores gastos em energia e, em caso de financiamento, valor das parcelas. Além disso, há necessidade de alta rodagem para retorno, conforme observado na Figura 11, que seria atingida, em geral, apenas por motoristas de profissão.

Em contrapartida, o segundo cenário foi o mais favorável ao consumidor economicamente. Os sistemas fotovoltaicos em que os consumidores precisariam investir apresentaram os menores tempos de *payback* além do valor reduzido em relação aos VE's. Observou-se que o ROI é maior e mais rápido quanto maior o consumo de eletricidade, fato que torna o limite inferior de consumo encontrado aquele com menor atratividade.

O terceiro cenário trouxe uma alternativa intermediária para discussão. A utilização de sistemas fotovoltaicos e carros elétricos busca integrar as vantagens de ambas tecnologias e minimizar aquilo que as tornam desfavoráveis. A análise dos resultados revelou que com um maior consumo advindo de uma maior rodagem o ROI torna-se mais rápido, porém, para a média nacional de quilômetros rodados o melhor tempo de retorno seria de 84 meses (Figura 17).

4 CONCLUSÃO

Inicialmente, neste trabalho foi feita uma breve revisão bibliográfica de três artigos que tinham em comum a análise de residenciais inteligentes, buscando formas de minimizar os gastos com energia através da integração de geração distribuída, veículos elétricos e até automatização de residências. Foi interessante observar que os VEs nestes estudos se mostraram favoráveis aos consumidores técnica e financeiramente. O crescimento da GD, os coincidentes picos de consumo e horários de ponta e a falta de controle e acompanhamento deste crescimento são alguns dos maiores desafios. Cada um dos artigos apresentou uma diferente solução para obter o melhor cenário utilizando princípios de algoritmo genérico, *net metering* e plataformas de automação que trouxessem os resultados mais favoráveis.

Posteriormente foram coletados dados de unidades consumidoras reais, atendidas em baixa tensão e rede bifásica, de diferentes bairros da cidade de Campo Grande — Mato Grosso do Sul. Apesar das características técnicas e geográficas semelhantes, cada uma das UC's tem seu padrão de consumo baseado na necessidade dos residentes. Na primeira residência observou-se um consumo decrescente ao longo dos meses, nos primeiros meses considerados era a que mais usava energia e após as simulações em "Consumidores de referência"apresentou uma das menores médias, cerca de 300 kWh. A segunda apresentou a característica mais marcante entre as quatro: um "salto"no consumo energético indicando uma elevação repentina nos padrões de consumo que passaram de uma média de 300 kWh para uma expectativa de uso médio de 490 kWh. A terceira teve o padrão mais constante com uma pequena elevação, a média manteve-se entre 600 e 700 kWh. A última residência apresentou o menor padrão de consumo, levemente decrescente, com média de aproximadamente 200 kWh. A partir destas simulações foram calculados a média e intervalos de tolerâncias sobre os quais foram simulados os cenários.

Foram construídos três cenários, cada um deles considera características diferentes. "Consumidores de referência"foi o caso base deste estudo onde os dados reais coletados foram submetidos a uma simulação de 1 ano futuro de consumo. Os resultados obtidos foram aproveitados nos demais cenários e o apresentou-se um breve resumo destes. No "Cenário 1 — Substituição dos veículos de combustão por VE", assim como nos demais, foram consideradas alterações sobre os dados simulados no caso base. Neste considerou-se a aquisição e utilização de um VE. Além disso, foi feita uma análise econômica sobre o ROI considerando a economia de energia em relação ao gasto com combustível de um veículo a combustão equivalente ao elétrico. Constatou-se que seriam necessários cerca de 11 anos até o *payback*. No "Cenário 2 — Instalação de SFCR"foram encontrados sistemas fotovoltaicos que atendessem ao consumo energético médio e dos limites inferior e superior calculados sobre todos os consumidores, que seriam de 3,2 kWp, 1,2 kWp e 7,2 kWp, respectivamente. Consideraram-se os preços praticados por empresas nacionais na venda de sistemas fotovoltaicos com estas características e estimou-se o ROI com base

nestes valores e na economia mensal em energia elétrica. O tempo de retorno indicou uma relação de maior benefício em sistemas maiores. Por fim, no "Cenário 3 — SFCR e VE" considerou-se a aquisição de um VE e de um SFCR. Utilizando os resultados obtidos no cenário 1 refizeram-se os cálculos de potência e custo de sistemas fotovoltaicos e também do ROI. Obteve-se uma alternativa intermediária em que há uma economia maior em relação à maior quantidade de energia utilizada e quilômetros rodados, porém isto serve somente para aqueles que já tenham um padrão de consumo elevado.

Através dos cenários criados, fez-se o "Comparativo entre os cenários" e observou-se que a melhor alternativa atualmente é utilizar painéis fotovoltaicos para geração distribuída e redução de gastos com energia elétrica. O custo de um SFCR, mesmo financiado, é diluído rapidamente pela economia proporcionada. Além do valor economizado com energia podemos citar: a baixa manutenção, reduções fiscais por incentivos, menor impacto dos reajustes inflacionários frequentes, durabilidade e acessibilidade, diferentemente dos VE's. O "Cenário - SFCR e VE" demonstrou que a economia gerada pelo SFCR possibilita um ROI ligeiramente melhor para aqueles que desejam adquirir um VE. Com planejamento de excedentes energéticos e preparo financeiro, a próxima alternativa seria usufruir de ambas inovações.

Por fim, sugere-se para trabalhos futuros o aprimoramento das discussões e análises levantadas através da inserção de curvas de carga e de carregamento de VE's, a coleta de dados de consumidores de outros estados e análise aprofundada ao nível nacional, consideração das tarifas praticadas pelas concessionárias e valores de diversos VE's expandindo as alternativas ao consumidor.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST - Módulo I*. 2016. <http://app.aneel.gov.br/modulo-1>.
- ANEEL. *Agência Nacional de Energia Elétrica*. 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/relatorio-ranking-tarifas>>.
- ANP. *Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. 2021. Disponível em: <<https://preco.anp.gov.br/>>.
- BARAN, R. A introdução de veículos elétricos no brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. 2012.
- CAOA CHERY. *Caoa Chery*. 2021. Disponível em: <<https://caoachery.com.br/arrizo5e>>.
- CIBOROWSKI, P. et al. Air emissions impacts of plug-in hybrid vehicles in minnesota's passenger fleet. *Minnesota Pollution Control Agency*, v. 5, p. 6, 2007.
- CLEMENTE, A.; SOUZA, A. Decisões financeiras e análise de investimentos. *São Paulo: Atlas*, 2008.
- CRESESB. *Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito*. 2021. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Matriz Energética e Elétrica*. 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>.
- EPE, N. T. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. *Nota Técnica da EPE, Rio de Janeiro*, p. 25, 2012.
- EPE, N. T. Metodologia: projeção de curva de carga horária. *Nota Técnica da EPE, Rio de Janeiro*, p. 27, 2020.
- FONTARAS, G.; PISTIKOPOULOS, P.; SAMARAS, Z. Experimental evaluation of hybrid vehicle fuel economy and pollutant emissions over real-world simulation driving cycles. *Atmospheric environment*, Elsevier, v. 42, n. 18, p. 4023–4035, 2008.
- FREITAS, D. M. et al. Decision support system for the management of electricity consumption contracts for smart grids environment using differential evolution and artificial neural network. In: IEEE. *IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. [S.l.], 2013. p. 7592–7597.
- KBB. *Kelley Blue Book*. 2021. Disponível em: <<https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quilometragem-precos-carro-usado/?id=1802>>.
- LONGO, M.; FOIADELLI, F.; YAİCI, W. Simulation and optimisation study of the integration of distributed generation and electric vehicles in smart residential district. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, Springer, v. 10, n. 3, p. 271–285, 2019.
- MACLEAN, H. L.; LAVE, L. B. Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. *Progress in energy and combustion science*, Elsevier, v. 29, n. 1, p. 1–69, 2003.

MANJREKAR, T. *Utility-Customer Interface Strategy and User Application for Electric Vehicles and Distributed Generation Management*. Tese (Doutorado) — University of Southern California, 2016.

NAKABAYASHI, R. Microgeração fotovoltaica no brasil: Viabilidade econômica. *IEE USP Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos*, 2015.

PATERAKIS, N. G. et al. Coordinated operation of a neighborhood of smart households comprising electric vehicles, energy storage and distributed generation. *IEEE Transactions on smart grid*, IEEE, v. 7, n. 6, p. 2736–2747, 2016.

PORTAL SOLAR. *Portal Solar*. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html>>.

SOVACOO, B. K.; HIRSH, R. F. Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (phevs) and a vehicle-to-grid (v2g) transition. *Energy Policy*, Elsevier, v. 37, n. 3, p. 1095–1103, 2009.