

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEONARDO RENAN ZAMPIER

GERENCIAMENTO DE DEMANDA MÁXIMA PARA SISTEMA DE
CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

CURITIBA

2023

LEONARDO RENAN ZAMPIER

GERENCIAMENTO DE DEMANDA MÁXIMA PARA SISTEMA DE
CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Automotiva.

Orientador: Prof Dr. Alexandre Rasi Aoki

Coorientador: Prof. Dr. Mateus Duarte Teixeira

CURITIBA

2023

TERMO DE APROVAÇÃO

LEONARDO RENAN ZAMPIER

GERENCIAMENTO DE DEMANDA MÁXIMA PARA SISTEMA DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Automotiva.

Prof Dr. Alexandre Rasi Aoki

Orientador – Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Mateus Duarte Teixeira

Coorientador - Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Luis Henrique de Assumpção Lolis

Coordenador Especialização em Engenharia Automotiva

Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Cidade, 18 de agosto de 2023.

RESUMO

Com o crescimento das vendas de veículos elétricos, sejam eles de passeio ou utilitários, um problema que surge é como fazer para carregar diversos veículos em uma mesma instalação ou rede elétrica (garagem de condomínio ou de empresa com diversos carregadores disponibilizados) sem que haja sobrecarga na instalação elétrica. Além disso, aumentar a potência instalada ou a demanda contratada em muitos casos não é uma solução eficiente, visto que esta elevação da demanda aumentada seria utilizada apenas em momentos quando um grande número de veículos estaria carregando ao mesmo tempo. Sendo assim, este trabalho consiste em uma prova de conceito que busca solucionar o problema de carregamento de diversos veículos elétricos em uma mesma instalação, como por exemplo um condomínio residencial, sem causar sobrecarga na instalação elétrica. Nesse sentido, o maior desafio a ser solucionado é gerenciar a demanda de carga, para isso será utilizado um algoritmo que gerencie a potência disponível para atender as necessidades do usuário. Para avaliação do desempenho da solução desenvolvida foram considerados três cenários de teste: Cenário 1 - Inclusão de novos carregadores ativos na demanda atual; Cenário 2 - Inclusão de tentativa de incluir novo carregador passando a capacidade da rede instalada, tendo uma negativa do sistema como retorno; e Cenário 3: Inclusão de tentativa de incluir um carregador com previsão de conclusão que não pode ser atendida, obtendo como resposta qual seria a previsão mínima para conclusão. O trabalho também destaca a importância da comunicação entre os carregadores e um sistema de gerenciamento para a implementação dessa lógica.

Palavras-chave: Veículos elétricos; Gerenciamento de demanda; Carga; Carregadores de veículos elétricos.

ABSTRACT

With the increase in sales of electric vehicles, whether for passenger or utility vehicles, a problem that arises is how to charge several vehicles in the same installation or electrical network (condominium or company garage with several chargers available) without overloading in electrical installation. Furthermore, increasing the installed power or the contracted demand in many cases is not an efficient solution, since this increase in the increased demand would only be used at times when a large number of vehicles would be charging at the same time. Therefore, this work consists of a proof of concept that seeks to solve the problem of charging several electric vehicles in the same installation, such as a residential condominium, without overloading the electrical installation. In this sense, the biggest challenge to be solved is to manage the load demand, for this an algorithm will be used to manage the available power to meet the user's needs. To evaluate the performance of the developed solution, three test scenarios were considered: Scenario 1 - Inclusion of new active chargers in the current demand; Scenario 2 - Inclusion of an attempt to include a new charger, passing the capacity of the installed network, with a negative response from the system; and Scenario 3: Inclusion of an attempt to include a loader with completion forecast that cannot be met, obtaining as a response what would be the minimum forecast for completion. The work also highlights the importance of communication between shippers and a management system for the implementation of this logic.

Keywords: Electric vehicles; Demand management; Load; Electric vehicle chargers.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CRESCIMENTO DAS VENDAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS POR ANO	10
FIGURA 2: REPRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES DE UM VEÍCULO ELÉTRICO À BATERIA	13
FIGURA 3: CONECTORES CA.....	14
FIGURA 4: CONECTORES CC	14
FIGURA 5: TIPOS DE CARREGADORES, CABOS E MODOS DE CARREGAMENTO	16
FIGURA 6: RENAULT TWIZY COM CABO PARA CARREGAMENTO RESIDENCIAL, USANDO MODO 1 OU 2	17
FIGURA 7: VEÍCULO CARREGANDO USANDO CARREGADOR PÚBLICO	17
FIGURA 8: ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO CC PARA CARREGAMENTO RÁPIDO	18
FIGURA 9: Ciclo de carga CC-CV.....	19
FIGURA 10: SIMULAÇÃO DA CARGA SIMULTÂNEA DE 10 MIL VES EM HORÁRIO DE PICO	23
FIGURA 11: DEMANDA DE CARGA PARA TARIFAÇÃO DE TEMPO DE USO REDUZIDA APÓS AS 22H.....	24
FIGURA 12: FLUXOGRAMA RELATIVO AO ALGORITMO DESENVOLVIDO	25
FIGURA 13: CARREGADOR ACIONADO EM T1.....	29
FIGURA 14: TENTATIVA DE ACIONAR CARREGADOR EM T1 BARRADA PELO SISTEMA	30
FIGURA 15: TENTATIVA DE ACIONAR CARREGADOR EM T1, POSTERGADA PARA T2 APÓS TÉRMINO DO CARREGAMENTO DE OUTRO DISPOSITIVO	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: MODOS DE CARREGAMENTO CONFORME IEC 61851-1.....	15
TABELA 2: VARIÁVEIS CORRESPONDENTES AO CARREGADOR	26
TABELA 3: VARIÁVEIS CORRESPONDENTES AO VEÍCULO	26

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

CC-CV	- Constant current, Constant voltage
IEC	- International Electrotechnical Commission
VE	- Veículo Elétrico

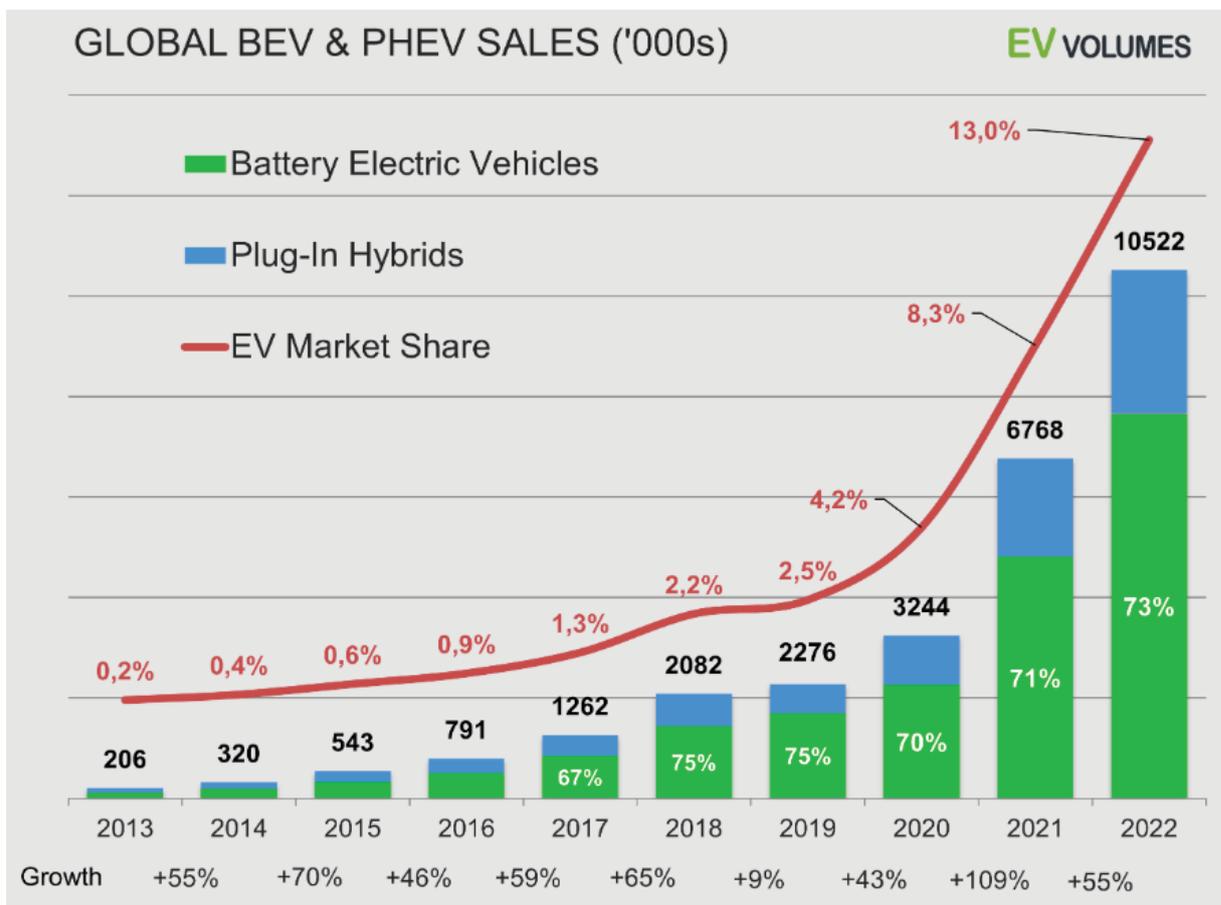
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 METODOLOGIA.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS PLUG-IN	13
2.2 CARREGADORES DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	14
2.3 BANCO DE BATERIAS	18
2.4 PROCESSO DE CARGA DO VEÍCULO ELÉTRICO	19
2.5 COMUNICAÇÃO ENTRE VEÍCULO E CARREGADOR	20
2.6 INSTALAÇÃO ELÉTRICA	21
3 REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1 GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO.....	22
3.2 GERENCIAMENTO DE DEMANDA LOCAL	23
3.3 PRECIFICAÇÃO	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 ALGORITMO.....	25
4.2 CÁLCULO DO CARREGAMENTO	27
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO	27
5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	29
5.1 CENÁRIO 1	29
5.2 CENÁRIO 2	30
5.3 CENÁRIO 3	30
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento das vendas de veículos elétricos, conforme mostrado na Figura 1, sejam eles de passeio ou utilitários, um problema que surge é como fazer para carregar diversos veículos em uma mesma instalação ou rede elétrica (garagem de condomínio ou de empresa com diversos carregadores disponibilizados) sem que haja sobrecarga na instalação elétrica. Além disso, aumentar a potência instalada ou a demanda contratada em muitos casos não é uma solução eficiente, visto que esta elevação da demanda seria utilizada apenas em momentos quando um grande número de veículos estaria carregando ao mesmo tempo.

FIGURA 1: CRESCIMENTO DAS VENDAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS POR ANO



FONTE: Irlle (2023)

O que pode ser feito para contornar este problema, por exemplo, é a criação de um sistema de gerenciamento de demanda, o qual se encarrega de otimizar o tempo de carga de cada veículo segundo uma lógica de entrada, como por exemplo

o tempo disponível para recarga, prioridade, demanda de potência disponível da instalação elétrica, entre outros.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho visa desenvolver uma prova de conceito de algoritmo para gerenciamento de demanda de um sistema de carregadores de veículos elétricos.

Para alcançar o objetivo geral, como objetivos específicos podem ser listados:

- Avaliar a literatura técnico-científica no que concerne:
 - Equacionamento de carga de baterias de veículos elétricos;
 - Sistemas de carregamento utilizados atualmente;
 - Sistemas de comunicação entre veículo e carregador;
- Desenvolver a lógica do algoritmo computacional de gerenciamento da demanda e carregamento de veículos elétricos;
- Implementar a lógica em linguagem de programação Python;
- Testar a lógica com diferentes valores de carga e potências de carregadores;
- Analisar os resultados obtidos e avaliar se o algoritmo atende às necessidades;
- Propor as melhorias necessárias para aplicação real do modelo em eventual sistema de gerenciamento de carregadores.

1.2 JUSTIFICATIVA

Além da necessidade de carregamento de apenas um veículo, quando pensamos em condomínios residenciais ou garagens com mais veículos o gerenciamento de demanda deve ser estudado, principalmente um gerenciamento automático que facilite este controle para os usuários. Aliando-se esta premissa ao fato de as concessionárias de energia praticam tarifas sazonais, além de gerenciar o uso da potência instalada de maneira segura, o gerenciamento pode trazer benefícios financeiros aos usuários se for configurado para funcionar apenas em horários de tarifas mais baixas por exemplo.

1.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta prova de conceito será utilizada a linguagem de programação Python, assim como a aproximação matemática da carga de baterias de veículos elétricos, onde não serão consideradas variáveis como temperatura ambiente, temperatura da bateria, umidade e demais aspectos ambientais que possam influenciar no cálculo da curva de carga.

Partindo da premissa de que há comunicação entre os carregadores, um sistema de gerenciamento e uma plataforma para entrada de dados (aplicativo ou interface física no carregador) e, desconsiderando a variável de faturamento / tarifação sobre a energia consumida por esses carregadores, estes que serão implementados em uma próxima etapa, o projeto focará exclusivamente na lógica do gerenciamento dos parâmetros elétricos relacionados com o carregamento da instalação elétrica.

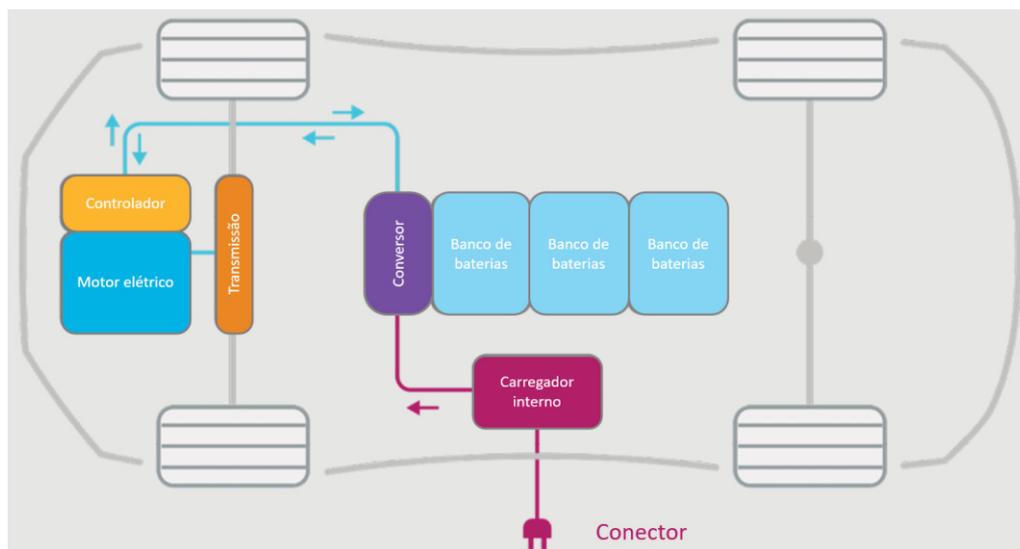
Como este trabalho visa inicialmente validar a aplicação de um algoritmo, para calcular o tempo e velocidade de carga das baterias será considerado a curva de carga como uma reta com inclinação constante, a fim de focar no objetivo do funcionamento da lógica em si, podendo este quesito ser refinado após a validação do algoritmo e suas funcionalidades.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS PLUG-IN

Veículos elétricos à bateria, veículos elétricos plug-in ou simplesmente veículos elétricos (VE), são automóveis 100% elétricos com baterias recarregáveis e sem nenhum tipo de motor à combustão. Seus principais componentes consistem em um banco de baterias, um ou mais motores (de corrente contínua ou corrente alternada) e um controlador para gerenciar a eletrônica de potência. Alguns veículos contam também com um carregador interno, estes por sua vez têm a velocidade da carga limitada pela potência deste carregador interno, visto que para aumentar a potência ocuparia mais espaço no veículo.

FIGURA 2: REPRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES DE UM VEÍCULO ELÉTRICO À BATERIA



FONTE: Traduzido de Delft University Of Technology (2020)

Estes veículos têm geralmente uma capacidade de bateria entre 15 e 100kWh dependendo do modelo, o que entrega ao usuário entre 100 e 400km de autonomia sem uma recarga.

Outro ponto importante sobre VEs gira em torno da sua característica construtiva, que reduz diversas perdas presentes em motores à combustão interna, como perdas por calor, acoplamentos, caixa de transmissão e entre outros, pois geralmente os motores elétricos têm um redutor próximo ao eixo das rodas ou

simplesmente adota-se o modelo com o motor acoplado diretamente nos eixos, reduzindo perdas e a manutenção do conjunto.

Aliado à esses fatores de redução de perdas ainda pode-se listar o fato de que esses veículos não geram emissões para seu funcionamento, visto que não há combustão em nenhuma das etapas.

2.2 CARREGADORES DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os carregadores de veículos elétricos são os equipamentos utilizados para transferir a energia da rede elétrica para o banco de baterias, funcionando analogamente às bombas de combustível para os veículos de combustão interna.

Por ser uma tecnologia relativamente recente, cada fabricante adotou seu próprio padrão de carregador, variando desde o tipo de corrente utilizada (Corrente contínua – CC, ou Corrente alternada – CA) a até mesmo o tipo do conector utilizado, como podemos verificar nas Figuras 3 e 4.

FIGURA 3: CONECTORES CA



FONTE: Delft University Of Technology (2020)

FIGURA 4: CONECTORES CC



FONTE: Delft University Of Technology (2020)

De acordo com o padrão IEC 61851-1 podemos classificar os modos de carga por suas características, como o tipo de conector, cabo fixo na estação de carga ou removível, recursos de segurança, entre outros. São os 4 modos:

- **Modo 1:** carregamento CA lento, utiliza-se conector de tomada convencional, não há comunicação entre o veículo e o carregador, é necessário um aterramento no VE para proteção contra falhas. Em alguns países é considerado inseguro e até ilegal;
- **Modo 2:** carregamento CA lento, utiliza-se conector de tomada convencional, mas o cabo do carregador é equipado com um dispositivo responsável pelo controle da carga, comunicação com o veículo e proteção contra surtos;
- **Modo 3:** este modo contempla carregamento lento e semi rápido através de um ponto de alimentação dedicado para carga de VEs, o carregador ou estação de carga é equipado com conectores específicos (geralmente tipo 1 ou tipo 2). A estação de carga é responsável pelo controle da carga, comunicação com o veículo e proteção contra surtos. Esse modo é comumente utilizado para estações de carregamento públicas e pode facilitar integrações com smart grids.
- **Modo 4:** este modo contempla carregamento lento e semi rápido através de um ponto de alimentação dedicado para carga de VEs, como o modo 3, mas específico para carregamento CC, o qual é recomendado para carregamento rápido. Para carregamento CC o conversor CA/CC é localizado na estação de carregamento, e não como parte do carro como no caso do carregamento CA. O controle, comunicação e funções de proteção fazem parte da estação de carregamento.

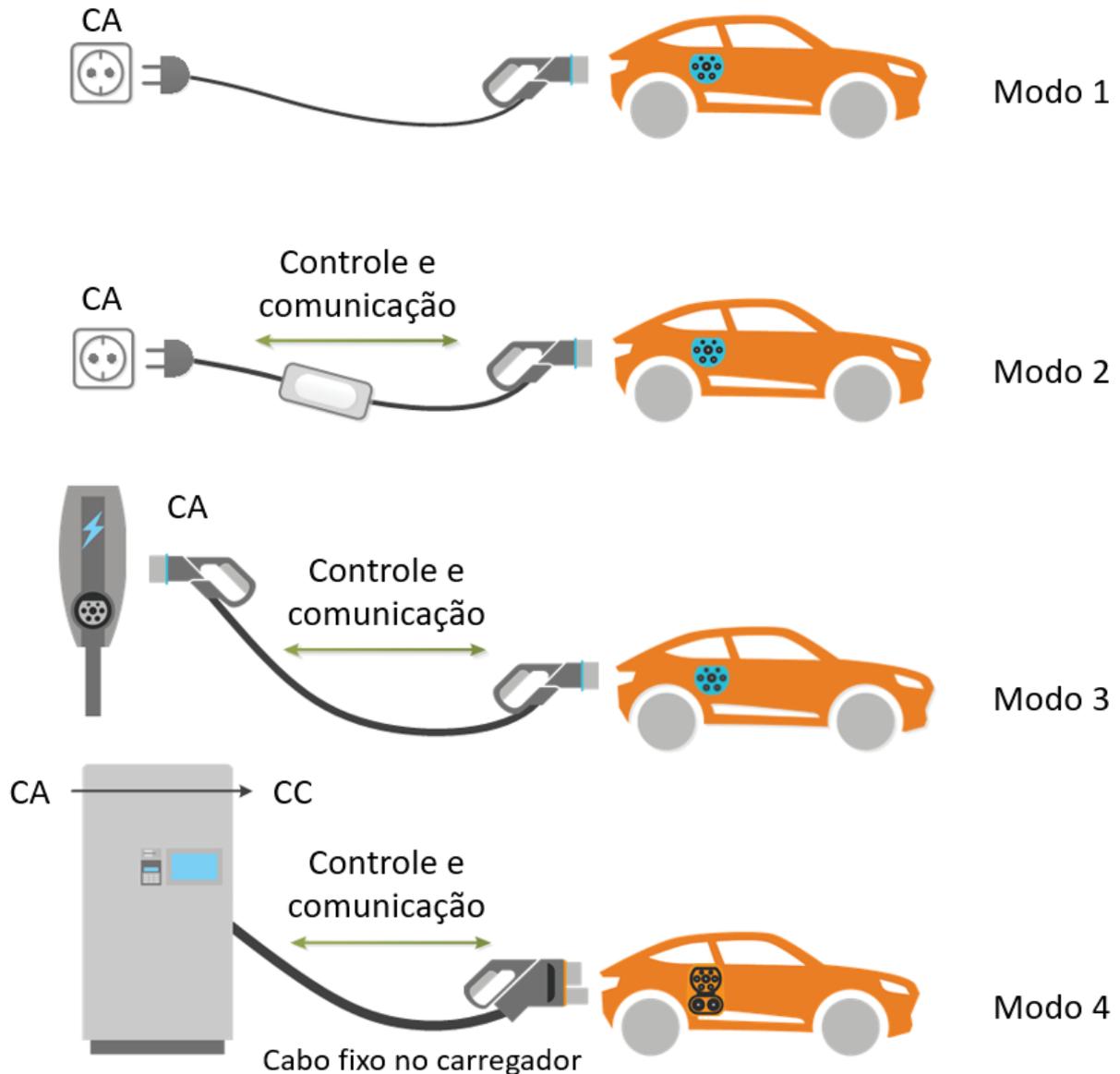
TABELA 1: MODOS DE CARREGAMENTO CONFORME IEC 61851-1

Modo de conexão	Fases	Corrente	Potência	Tipo de carregamento
Modo 1	1 fase	16 A	3.7 kW	Carregamento lento
	3 fases	16 A	11.0 kW	
Modo 2	1 fase	32 A	7.4 kW	Carregamento lento com proteção no cabo
	3 fases	32 A	22.0 kW	
Modo 3	1 fase	32 A	14.5 kW	Carregamento lento ou rápido
	3 fases	62 A	43.5 kW	
Modo 4	1 fase	400 A	200 kW	Carregamento rápido CC com carregador externo ao veículo

FONTE: Traduzido de INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (2017)

A Figura 5 ilustra as características de cada modo.

FIGURA 5: TIPOS DE CARREGADORES, CABOS E MODOS DE CARREGAMENTO



FONTE: Traduzido de Delft University Of Technology (2020)

Baseando-se nas características de cada modo de carga e na localização dos carregadores, podem ser listados três casos de carregamento:

Caso A: O cabo de carregamento tem um conector de tomada doméstica padrão em uma ponta e um conector específico para EV na outra ponta. Esse tipo de carregamento é feito com o conversor CA/CC interno do veículo, geralmente associado aos modos 1 e 2.

FIGURA 6: RENAULT TWIZY COM CABO PARA CARREGAMENTO RESIDENCIAL, USANDO MODO 1 OU 2



FONTE: revistacarro.com.br (2015)

Caso B: cabo de carregamento tem conectores tipo 1 ou tipo 2 nas duas extremidades. Carregamento é feito com o conversor CA/CC interno do veículo. Comumente associado ao modo 3. É o modo mais utilizado em estações públicas de carregamento.

FIGURA 7: VEÍCULO CARREGANDO USANDO CARREGADOR PÚBLICO



FONTE: Wikimedia Commons (2017)

Caso C: uma extremidade do cabo é fixa na estação de carregamento, específico para carregamento CC com conector compatível com os modelos de entrada do VE. Aplicado para modo 4.

FIGURA 8: ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO CC PARA CARREGAMENTO RÁPIDO



FONTE: Pixabay (2017)

2.3 BANCO DE BATERIAS

O banco de baterias é o componente mais importante de um VE, pois somente ele é responsável por boa parte do valor do veículo. Além disso, a capacidade do banco, juntamente com a eficiência do sistema, são responsáveis em determinar qual será o alcance máximo do automóvel com apenas uma carga.

Os principais parâmetros de bateria podem ser listados como:

1. *Tensão nominal (V_{nom} em V):* é a tensão nominal da bateria quando está completamente carregada, quando descarregada ou com carga a tensão diminui para um valor V_{batt} ;
2. *Corrente nominal (I_{nom} em A):* é a corrente nominal da bateria para carregar ou descarregar, normalmente o valor da corrente de carga é $I_{batt} \leq I_{nom}$. Para VEs a corrente de pico de descarga é maior que a corrente de pico de carga.
3. *Ampère-hora (Q_{nom} em Ah):* um ampère-hora corresponde à capacidade da bateria em manter uma corrente de 1A por uma hora. O

total de energia armazenado na bateria pode ser obtido pelo produto entre Q_{nom} e V_{nom} .

$$E_{nom} = Q_{nom}V_{nom} [Wh]$$

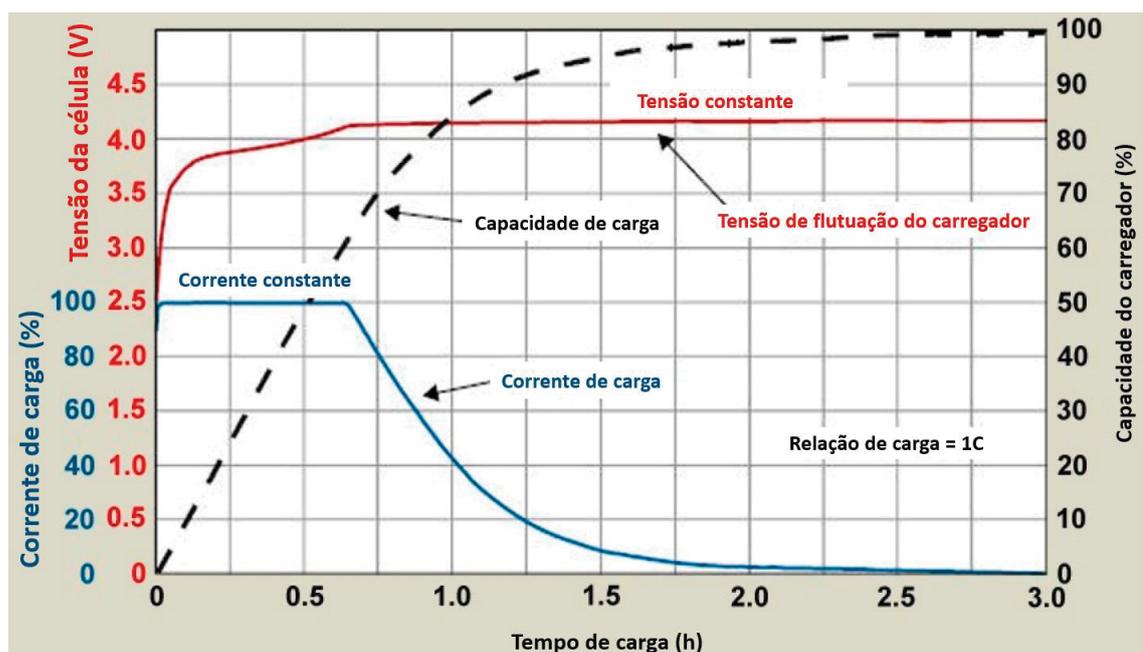
4. Eficiência de carga/descarga (em %): a eficiência é utilizada para representar a habilidade de uma bateria armazenar/recuperar carga, não é uma constante mesmo para um ciclo e depende do estado de carga, temperatura das células da bateria e da corrente.
5. *Estado de carga (do inglês, SOC) (B_{SOC} em %)*: o estado de carga da bateria é definido pela relação de energia armazenada na bateria no momento, E_{batt} , e a capacidade total da bateria, E_{nom} .

$$B_{SOC} = \frac{E_{batt}}{E_{nom}} 100 [\%]$$

2.4 PROCESSO DE CARGA DO VEÍCULO ELÉTRICO

Cada veículo tem o seu objetivo e suas particularidades, porém quando o assunto é processo de carregamento muitos fabricantes recomendam um padrão de carga conhecido como corrente constante, tensão constante (do inglês, CC-CV), mostrado na Figura 9.

FIGURA 9: Ciclo de carga CC-CV



FONTE: Traduzido de Miao et al. (2019)

Este processo consiste em entregar para a bateria um valor de corrente constante até que a bateria atinja seu valor de tensão máximo, assim que isso ocorre o valor da corrente cai para manter a tensão máxima e evitar sobretensão nas células do banco de baterias.

A relação na qual uma bateria pode ser carregada ou descarregada em relação à sua capacidade máxima é chamada de C_{rate} :

$$C_{rate} = \frac{P_{ch}}{E_{cap}}$$

onde P_{ch} é a potência total de carga e E_{cap} é a capacidade total da bateria. Se uma bateria tem capacidade de 100kWh, então com uma relação de carga 1C indica 100kW por uma hora para carregar completamente a bateria. A capacidade nominal em Ah é geralmente usada para descrever a habilidade da bateria em entregar corrente. Para um intervalo de tempo fixo, quanto mais alto a C_{rate} menor a capacidade nominal.

2.5 COMUNICAÇÃO ENTRE VEÍCULO E CARREGADOR

Para que o processo de carregamento ocorra com segurança, evitando possíveis falhas técnicas do conjunto carregador-VE e visando a durabilidade do banco de baterias do veículo, todo esse sistema é gerenciado através da estação de carregamento que, por meio de um protocolo de comunicação específico, interpreta as informações coletadas pelos sensores do carro.

Essas informações podem se referir a balanceamento de carga, autenticação e autorização para carregamento, sensor de acoplamento do conector no carro e informações sobre a bateria. Além dessas informações o veículo pode informar a estação se há algum problema no sistema do veículo, e caso isso aconteça o carregamento pode ser interrompido para evitar maiores eventuais danos.

O protocolo de comunicação mais difundido é o OCPP – Open Charge Point Protocol, protocolo internacional, de código aberto, não relacionado a uma montadora específica e gratuito. Foi desenvolvido com o suporte de fabricantes de carregadores de VEs, operadores de estações de carga e fornecedores de software. Sua versão mais recente conta com novos recursos de gerenciamento de equipamentos, segurança, carregamento inteligente entre outros.

2.6 INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Um dos maiores limitadores para a implementação de sistemas de recarga em condomínios e empresas é a limitação das instalações elétricas. Visto que em projetos já executados a potência instalada não condiz com a potência necessária para carregar diversos veículos ao mesmo tempo, se faz necessário saber utilizar da melhor forma o que há disponível de potência ou até dimensionar uma eventual ampliação de maneira otimizada.

Uma das alternativas para se contornar as limitações com relação às instalações elétricas é o gerenciamento de demanda onde, de forma manual ou automatizada, há um processo para se controlar a demanda utilizada para carregamento de acordo com a necessidade, aproveitando momentos de menor uso da potência instalada ou variação do custo do kWh por exemplo, em sintonia com os horários em que os veículos estão fora de funcionamento, geralmente fora do horário de trabalho.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O processo de levantamento da literatura acerca do tema deste projeto foi conduzido com base na linha da revisão narrativa, isto é, o processo teve início com alguns trabalhos-chave indicados pelos orientadores, com os quais, por meio de análise preliminar de alinhamento dos principais temas, culminou na revisão aqui exposta.

A utilização de veículos elétricos tem aumentado rapidamente devido à fatores como poluição do ar, custo de combustíveis fósseis e a redução dos preços dos seus componentes. Muitos países têm adotado políticas para incentivar o uso dos VEs como alternativa para reduzir poluição sonora e emissão de gases Jaruwatanachai et al. (2023), porém esse tipo de veículo demanda uma grande quantidade de energia para carregamento e com uma frequência considerável, fazendo-se necessário um mecanismo de agendamento e/ou revezamento para carregamentos, tornando assim possível a rede suprir as demandas Wang; Thompson (2019).

Para que isso ocorra, alguns pontos precisam ser avaliados, como por exemplo a necessidade de se construir uma estrutura urbana que torne os carregadores acessíveis, visto que apenas neste aspecto podemos listar alguns desafios: capacidade da rede elétrica de distribuição, preparação e/ou ampliação de instalações elétricas locais para comportar a nova demanda, além de aspectos técnicos que serão afetados como oscilações na rede, necessidade de uma maior geração e a qualidade da energia durante os períodos de pico Dubey; Santoso (2015).

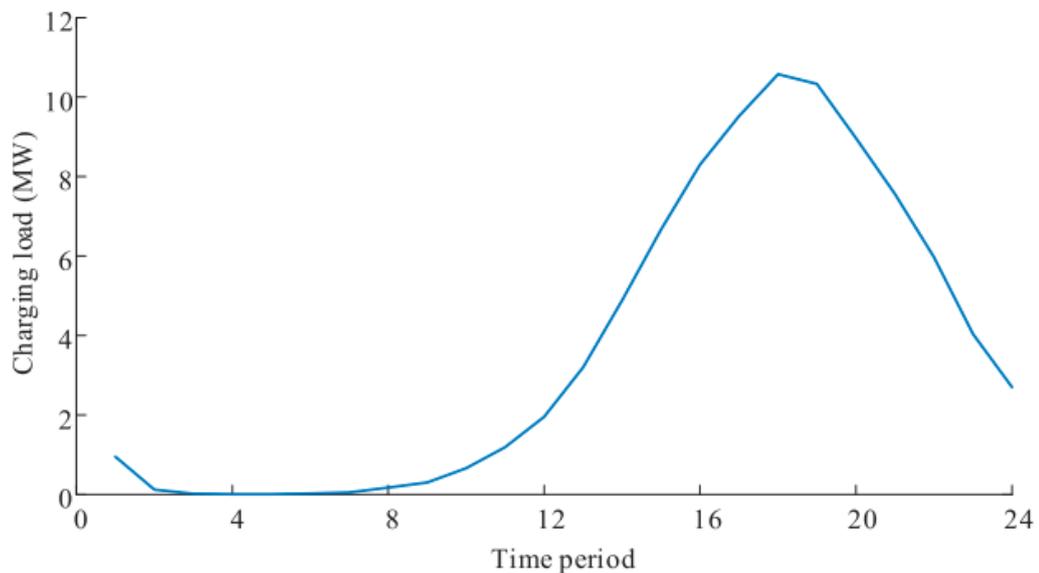
3.1 GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

Nos últimos anos a literatura tem abordado os diversos impactos que VEs podem causar nas redes de distribuição, como envelhecimento de transformadores e a qualidade da energia no sistema de distribuição. Recargas durante horários de pico por exemplo, podem sobrecarregar as subestações e transformadores, além de acelerar a deterioração dos equipamentos. Outros pontos importantes são os de qualidade de energia, como quedas de tensão, desbalanceamentos da rede e harmônicos de tensão e/ou corrente Dubey; Santoso (2015).

Assumindo um cenário onde todos os proprietários carreguem seus veículos elétricos após o horário de trabalho uma vez por dia, conforme exemplificado através

do método Monte Carlo por Wang et al. (2020), para 10 mil VEs carregando teríamos um pico da carga entre 18 e 23h, coincidindo com o pico de uso atual, o que podemos chamar de “pico sobre pico”. Neste cenário citado, a geração extra de energia (ex: termoelétricas) muito provavelmente se faria necessária nesses horários para atender a demanda, e além de aumentar o custo do kWh alteraria a qualidade da energia fornecida.

FIGURA 10: SIMULAÇÃO DA CARGA SIMULTÂNEA DE 10 MIL VES EM HORÁRIO DE PICO



FONTE: X. Wang (2020)

3.2 GERENCIAMENTO DE DEMANDA LOCAL

Além do uso residencial de carregadores de VEs, pensando em aplicações como condomínios, estacionamentos de empresas ou garagens de frotas o problema é um pouco maior. Estacionamentos são os pontos onde os veículos tendem a ter mais tempo para cargas, em alguns casos isso tem inclusive se tornado um diferencial no modelo de negócio de estacionamentos privados Babic et al. (2022). Mas se olharmos para condomínios e garagens de empresas que tenham frotas, por exemplo, a questão principal para se atender é ter uma potência instalada disponível com pouca ou nenhuma possibilidade de ampliação e diversos veículos para serem recarregados.

Para isso, a bibliografia indica algumas soluções que podem ser abordadas, como estudos de esquemas de carregamento diversos, como listados por Dubey; Santoso (2015), onde os dois principais objetivos dos estudos são maximizar os

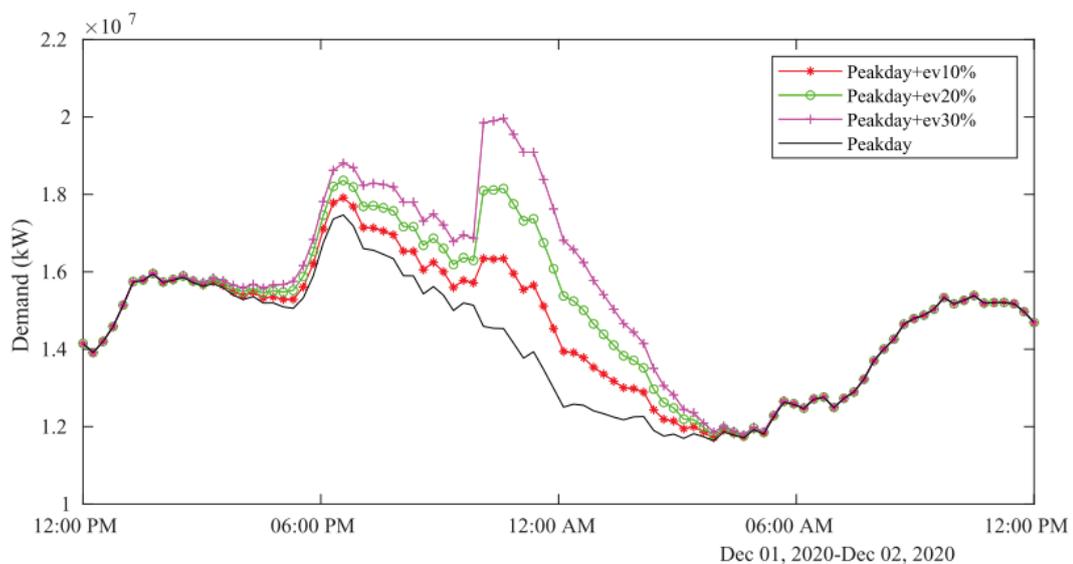
benefícios para os serviços públicos e maximizar os benefícios para os proprietários dos VEs, tanto no que tange precificação, agendamento de recargas, otimização de potência disponível e planejamento urbano.

3.3 PRECIFICAÇÃO

Além do sistema de gerenciamento de demandas, a questão da precificação se faz evidente quando avaliados os aspectos de controle de frota, para que a empresa tenha um controle dos custos de operação, mas também para o usuário final em seu condomínio residencial.

Como avaliado no estudo de Jaruwatanachai et al. (2023) a precificação por tempo de uso (do inglês TOU – time-of-use), essa é uma das estratégias a serem colocadas em prática para contornar sobrecargas em horário de pico ocasionadas por carregamento de VEs. No estudo, adotando-se uma tarifa diferenciada para uso após as 22h, o pico causado pela inserção de VEs se concentrou majoritariamente após o horário com mudança de tarifa, deslocado do pico existente próximo às 18h e aliviando a demanda solicitada da rede. Este fenômeno de segundo pico de demanda pode ser encontrado também no estudo prévio de Schey et al. (2012).

FIGURA 11: DEMANDA DE CARGA PARA TARIFAÇÃO DE TEMPO DE USO REDUZIDA APÓS AS 22H



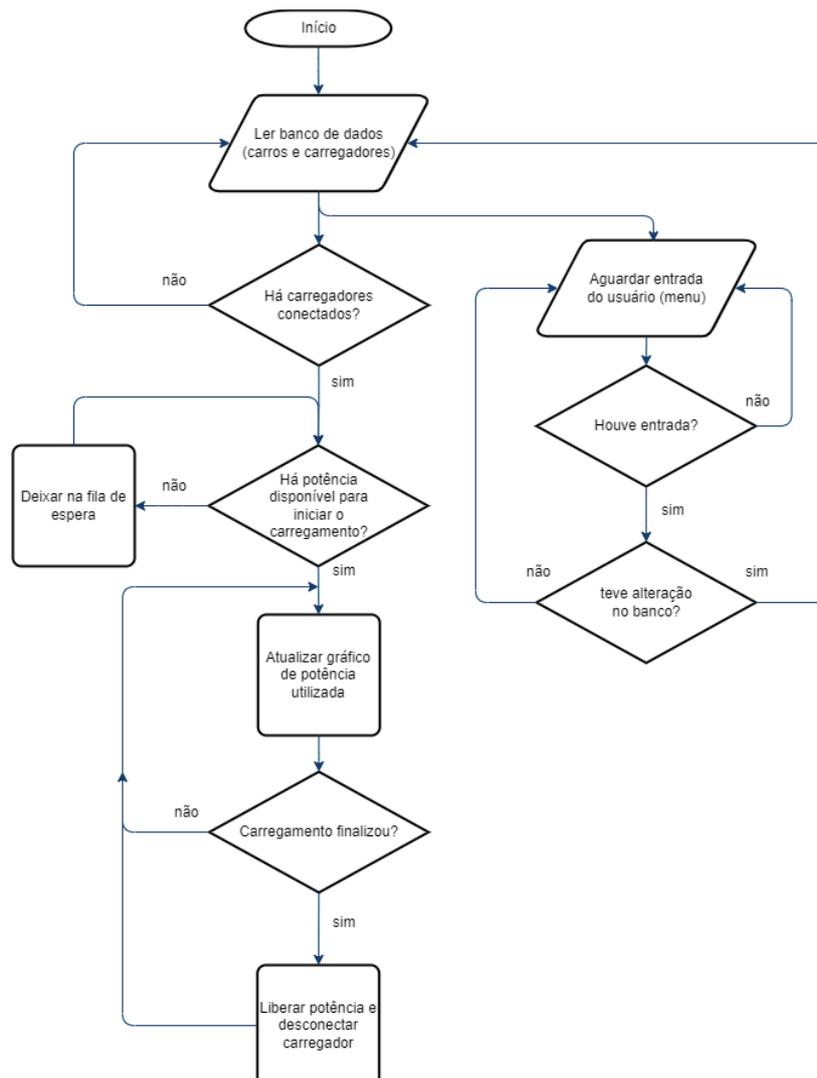
FONTE: Jaruwatanachai et al. (2023)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ALGORITMO

Para desenvolver o algoritmo foi necessário desenvolver em alguns pontos como interação com o usuário, validação de entradas e verificações de valores. O algoritmo consiste em três funções contínuas rodando em paralelo (Figura 12), uma responsável pela leitura das entradas de teclado do usuário, outra por fazer a avaliação de potência disponível e previsões de conclusão e a última que ficará responsável em retornar ao usuário o uso da potência em forma de gráfico, onde este será atualizado em tempo real no formato potência utilizada versus tempo.

FIGURA 12: FLUXOGRAMA RELATIVO AO ALGORITMO DESENVOLVIDO



FONTE: O Autor (2023)

Para simular carregadores e veículos, visto que não haveriam dispositivos físicos com comunicação entre eles para testes, foram usados dicionários de dados apresentados nas e 3, onde as variáveis utilizadas para controle de carga de cada veículo e carregador estão presentes, assim como as informações necessárias para a avaliação macro da rede.

TABELA 2: VARIÁVEIS CORRESPONDENTES AO CARREGADOR

charger
number: 1
status: True
charger_power: 20.0
date_deadline: DD/MM/YY
time_deadline: HH:MM:SS
car_charging: 2

FONTE: O Autor (2023)

Para o carregador, as variáveis utilizadas foram:

- Number: número de identificação do carregador;
- Status: representação do sensor que identifica se o carregador foi conectado no VE;
- Charger_power: potência do carregador em kW;
- Date_deadline: data limite para o carregamento, inserida pelo usuário;
- Time_deadline: horário limite para o carregamento, inserida pelo usuário;
- Car_charging: identificação do veículo a ser carregado

TABELA 3: VARIÁVEIS CORRESPONDENTES AO VEÍCULO

car
car_number: 1
car_name: car20_1
car_full_bat: 20
bat_percentage: 35

FONTE: O Autor (2023)

Já as variáveis utilizadas para o veículo:

- Car_number: identificação do veículo, variável utilizada para relacionar o veículo ao carregador no qual este está conectado;
- Car_name: identificação genérica representando a capacidade da bateria e o número do veículo;
- Car_full_bat: capacidade do banco de baterias do veículo completamente carregado;
- Bat_percentage: porcentagem atual da capacidade do banco de baterias disponível

4.2 CÁLCULO DO CARREGAMENTO

Para o cálculo do carregamento foi utilizada a aproximação de carga como sendo linear, adotando-se a premissa que a cada segundo seria adicionada a mesma quantidade de energia à bateria, evitando não linearidades do processo real de carga.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO

Para implementar o algoritmo idealizado foi utilizada a linguagem de programação Python, visto a sua simplicidade de construção e a vasta quantidade de bibliotecas e material disponível para consultas.

O código foi desenvolvido na ferramenta PyCharm, sendo esta gratuita, simples de utilizar e amplamente difundida entre programadores não profissionais.

Para um primeiro momento, o programa foi desenvolvido baseando-se em uma aplicação que roda em terminal, com menu de opções para entrada do usuário e um retorno na tela para cara intervalo de adição de carga ou outras finalidades.

O modelo de banco de dados para armazenar informações dos carregadores e dos carros baseia-se em uma lista de dicionários, onde todos os itens da lista têm os mesmos dados para serem preenchidos.

Para todas as entradas que em uma aplicação comercial seriam automáticas, como por exemplo a identificação do carregador conectado e valores dos dados do carro, foram utilizadas entradas manuais feitas pelo o usuário, que podem ser aprimoradas no futuro.

Outro ponto adotado foi a geração de gráficos para representar a potência instalada total e a potência utilizada a cada momento, facilitando para o usuário o controle e o gerenciamento visual da demanda para recarga.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

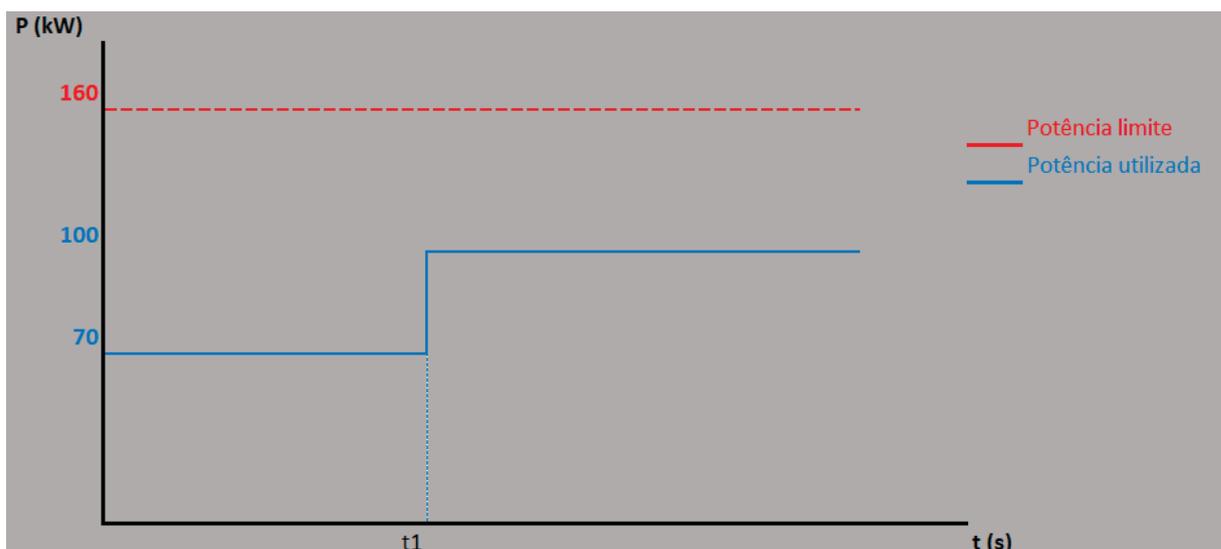
Após o desenvolvimento das funções básicas para o funcionamento da aplicação, para avaliação do desempenho da solução central foram considerados 3 cenários de teste:

- Cenário 1: Inclusão de novos carregadores ativos na demanda atual, mostrando em gráfico
- Cenário 2: Inclusão de novo carregador passando a capacidade da rede instalada, tendo uma negativa do sistema como retorno
- Cenário 3: Inclusão de um carregador com previsão de conclusão que não pode ser atendida, obtendo como resposta qual seria a previsão mínima para conclusão

5.1 CENÁRIO 1

Depois dos testes de funcionalidade padrão, o primeiro teste da funcionalidade constou em acionar um carregador, ou seja, mudar o status dele para conectado, e verificar se no gráfico de demanda utilizada a potência aumentou de acordo com a potência declarada nos dados do carregador.

FIGURA 13: CARREGADOR ACIONADO EM T1



FONTE: O Autor (2023)

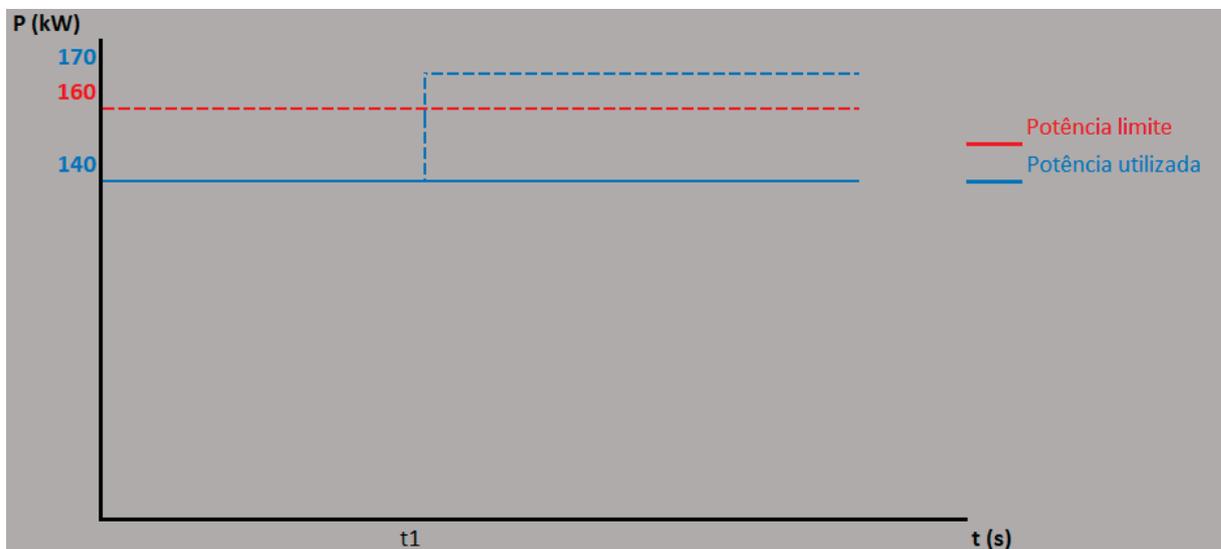
Conforme apresentado na Figura 13, a potência utilizada subiu conforme a potência do carregador acionado, 30kW, e como havia potência disponível não houve problemas.

5.2 CENÁRIO 2

Neste teste negativo, ou seja, onde se espera que o sistema não execute a ação solicitada, o objetivo foi verificar se o sistema rejeitaria o acionamento de um carregador que ao ser ligado excedesse a potência total da rede, o que em um cenário real seria algo crítico para a instalação elétrica local.

Para isso, o teste constituiu em iniciar o teste com diversos carregadores ativos, deixando apenas uma potência de 20kW disponível para uso, porém nenhum dos carregadores listados tem menos de 30kW de potência. Assim, ao iniciar o programa, solicitou-se o acionamento de mais um carregador em t_1 , a potência utilizada excederia o valor da potência limite e o sistema rejeitou a inclusão.

FIGURA 14: TENTATIVA DE ACIONAR CARREGADOR EM T1 BARRADA PELO SISTEMA



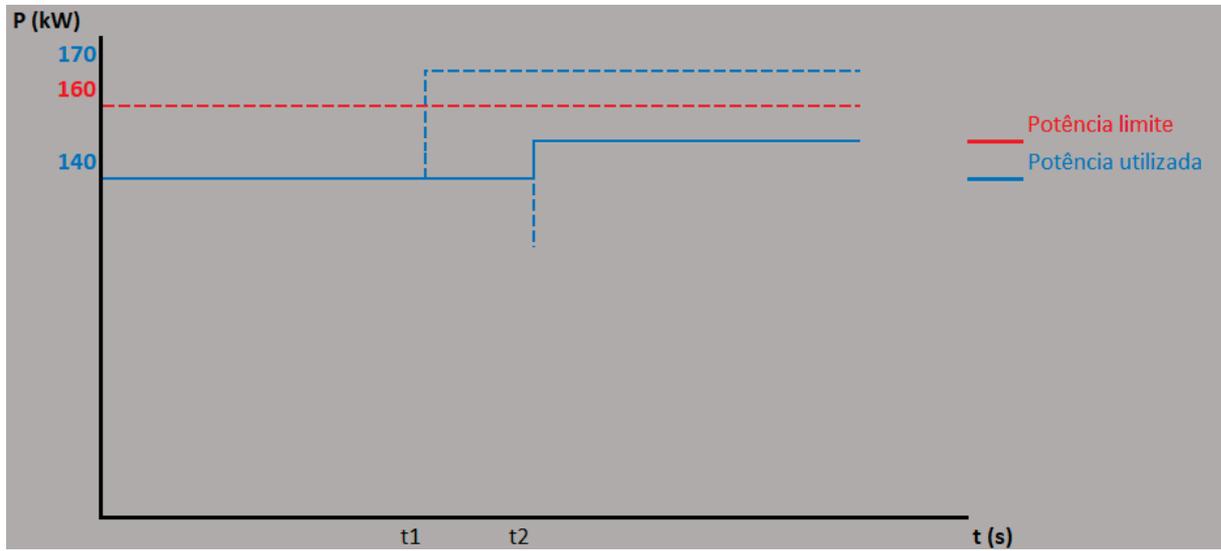
FONTE: O Autor (2023)

5.3 CENÁRIO 3

Complementando o cenário anterior, este teste consiste em solicitar o acionamento de um carregador com uma previsão de entrega que não seja possível, visto que não há potência disponível na rede para cumprir o horário, portanto o sistema

retorna ao usuário a primeira previsão possível para atender ao pedido e acionou o carregador assim que liberou potência para isso.

FIGURA 15: TENTATIVA DE ACIONAR CARREGADOR EM T1, POSTERGADA PARA T2 APÓS TÉRMINO DO CARREGAMENTO DE OUTRO DISPOSITIVO



FONTE: O Autor (2023)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa desenvolvido implementou a lógica principal do algoritmo proposto, entregando ao usuário gerenciador a gestão de carregamento da sua frota atendendo aos requisitos de demanda máxima e horários de finalização das cargas, assim como retornos na interface para questões adversas como entradas erradas ou que não pudessem ser atendidas.

Para a continuação do desenvolvimento deste projeto pode-se listar alguns incrementos para se aproximar da realidade de uma solução de mercado, como por exemplo adoção das curvas de carga recomendadas para veículos elétricos, tarifação da demanda consumida conforme sazonalidade, uma interface gráfica para melhor experiência do usuário, entre outros.

Com isso, o objetivo de colocar em prática as aplicações de conhecimento desenvolvidas no curso e atender uma demanda de mercado foram atingidos.

REFERÊNCIAS

1. BABIC, J.; CARVALHO, A.; KETTER, W.; PODOBNIK, V. A data-driven approach to managing electric vehicle charging infrastructure in parking lots. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 105, n. February, p. 103198, 2022. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103198>>. .
2. DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Electric cars. , 2020. Delft. Disponível em: <<https://www.edx.org/professional-certificate/delftx-electric-cars>>. .
3. DUBEY, A.; SANTOSO, S. Electric Vehicle Charging on Residential Distribution Systems: Impacts and Mitigations. **IEEE Access**, v. 3, p. 1871–1893, 2015. IEEE.
4. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **International Standard IEC 61851-1:2017**. 2017.
5. IRLE, R. Global EV Sales for 2022. Disponível em: <<https://www.ev-volumes.com/>>. .
6. JARUWATANACHAI, P.; SUKAMONGKOL, Y.; SAMANCHUEN, T. Predicting and Managing EV Charging Demand on Electrical Grids: A Simulation-Based Approach. **Energies**, v. 16, n. 8, p. 1–22, 2023.
7. MIAO, Y.; HYNAN, P.; VON JOUANNE, A.; YOKOCHI, A. Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. **Energies**, v. 12, n. 6, p. 1–20, 2019.
8. SCHEY, S.; SCOFFIELD, D.; SMART, J. A first look at the impact of electric vehicle charging on the electric grid in the EV project. **World Electric Vehicle Journal**, v. 5, n. 3, p. 667–678, 2012.
9. WANG, X.; SUN, C.; WANG, R.; WEI, T. Two-Stage Optimal Scheduling Strategy for Large-Scale Electric Vehicles. **IEEE Access**, v. 8, p. 13821–13832, 2020.
10. WANG, Y.; THOMPSON, J. S. Two-stage admission and scheduling mechanism for electric vehicle charging. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 3, p. 2650–2660, 2019.