

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIA**

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GABRIEL MARTINELLI GALHARDO

**ALGORITMO GENÉTICO APLICADO A
OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DO
CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM
AMBIENTES EMPRESARIAIS**

CAMPINAS

2020

GABRIEL MARTINELLI GALHARDO

**ALGORITMO GENÉTICO APLICADO A
OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DO
CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM
AMBIENTES EMPRESARIAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentada como exigência para obtenção do Título de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Frank Herman Behrens

PUC- CAMPINAS

2020

Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia
Faculdade de Engenharia Elétrica

Autora: GALHARDO, Gabriel Martinelli

Título: Algoritmo Genético Aplicado a Otimização do Planejamento do Carregamento de Veículos Elétricos em Ambientes Empresariais.

Trabalho de conclusão de curso apresentada como exigência para obtenção do Título de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Frank Herman Behrens

1º Examinador (Prof.(a). Dr. (a). _____

2º Examinador (Prof. (a). Dr. (a). _____

Campinas, 26 de novembro de 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido a vida, meus pais, minha família, meus amigos, saúde, força e disposição para a realização desse trabalho e da graduação e por todas as graças alcançadas durante essa trajetória da minha vida.

Ao Prof. Dr. Frank Herman Behrens, o meu respeito e gratidão pelos ensinamentos necessários para que esse trabalho fosse realizado e pelo cuidado e atenção comigo nesta etapa tão fundamental para a minha formação.

Ao Prof. Ralph Robert Heinrich por me proporcionar conhecimento suficiente para que esse trabalho fosse realizado.

A Prof. Dra. Marina Lavorato de Oliveira, o meu respeito e eterna gratidão pelos ensinamentos de todos esses anos.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Elétrica da PUC-Campinas meus sinceros agradecimentos pelos ensinamentos e convivências proporcionados.

A empresa Venturus e a todos os colaboradores pela confiança e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos Bruno e Euler por todo companheirismo, cumplicidade e irmandade construídos nesses anos de faculdade, por toda ajuda desempenhada um pelos outros no desenvolvimento desse trabalho e na vida universitária.

“O sucesso nasce do querer, da
determinação e persistência em se chegar a
um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem
busca e vence obstáculos, no mínimo fará
coisas admiráveis.”

José de Alencar
(1829-1877)

RESUMO

GALHARDO, Gabriel Martinelli. Algoritmo Genético Aplicado a Otimização do Planejamento do Carregamento de Veículos Elétricos em Ambientes Empresariais. 2020. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Devido à falta de políticas públicas ou regulamentação no setor elétrico brasileiro em relação a utilização e recarga dos veículos elétricos, faz com que haja uma preocupação do setor elétrico devido a inserção de novas cargas na rede sem um estudo prévio. Com isso se faz necessário a aplicação de técnicas de gerenciamento de carga capazes de corrigir os problemas causados por possíveis sobrecargas na rede local. A utilização do algoritmo genético para problemas de otimização é uma das técnicas mais popularmente empregada na solução de problemas complexos, devido à sua simplificação na formulação e solução do problema. Em contrapartida, a utilização do algoritmo genético possui a dificuldade em encontrar um ponto de ótimo global e necessita de um grande número de avaliações de funções de aptidão. A aplicação do algoritmo genético na otimização do planejamento do carregamento de veículos elétricos é uma alternativa válida para o gerenciamento das cargas na rede de distribuição de energia elétrica. Considerando isso, foram realizadas simulações através do software *Matlab* a fim de analisar a gestão do carregamento dos veículos, levando em conta a demanda local e o tempo máximo de carregamento de modo a atender a demanda local estimada de uma empresa e beneficiando os usuários. O algoritmo genético aplicado a otimização do planejamento do carregamento de veículos elétricos mostrou-se eficiente e atendeu as expectativas em diversos aspectos como tempo de recarga, potência utilizada e desempenho de execução, caracterizando-se como uma opção adequada para aplicação no mercado de eficiência energética.

Palavras-Chave: Algoritmo Genético; Recarga, Otimização; Veículo Elétrico; Rede Elétrica.

ABSTRACT

GALHARDO, Gabriel Martinelli. *Genetic Algorithm Applied to Optimization of Planning the Electric Vehicles Charging in Companies Environment*. 2020. 67f. Final Paper (Graduate Course in Electrical Engineering). Center for Exact, Environmental and Technology Sciences. Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Due to lack of public politics or regulations in Brazilian electrical sector in relation to the use and electric vehicles charging there is a concern to electrical sector due to the application of new loads to electrical network without a previous study. Thus, it is essential the application of load management techniques to solve problems caused by possible overloads in locals electrical network. The use of genetic algorithm to optimization problems is one of the most popular techniques used in solving complex problems, due to be simple to formulate the problem and in finding the solutions. However, in this technique it is difficult to find a global optimal and is required a high number of evaluations in fitness function. The application of genetic algorithm to optimization of planning the electric vehicles charging is a valid option to the load management in electrical energy distribution network. Thus, to the simulations used the software Matlab to analyze the electric vehicles charging management, in order to respect the local electrical demand and the maximum time of vehicle charging, considering also the user experience. The genetic algorithm applied to optimization of planning the electric vehicles charging presented efficiency and met the expectations in several aspects as charging time, power used and performance in executing the algorithm, classifying the algorithm developed as a suitable option to application in energy efficiency market.

Palavras-Chave: Genetic Algorithm; Charging; Optimization; Electric Vehicle; Electrical Network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Plugs	22
Figura 2 - Carregador WEMOB WEG residencial com tomada tipo 2	23
Figura 3 - Carregador EVlink de recarga semi-rápida com tomada tipo 2	24
Figura 4 - Carregador ABB rápido com suporte para CCS, CHAdeMO e AC de tipo 2 (opcional) cabo AC de 22 ou 43 kW ou tomada CA de 22 kW.....	25
Figura 5 - Requisitos mínimos para utilização do software Matlab.	32
Figura 6 - Etapas do algoritmo genético.	34
Figura 7 - Renault Zoe	37
Figura 8 - Curva típica comercial	39
Figura 9 - Curva de carga estimada da empresa Venturus.....	39
Figura 10 - Etapas do algoritmo genético aplicado ao problema de otimização do carregamento de veículos elétricos.	41
Figura 11 - Exemplo de um indivíduo do problema.....	42
Figura 12 - Exemplo de uma população inicial do problema.....	43
Figura 13 - Fluxograma do cálculo de priorização.	43
Figura 14 - Fluxograma do cálculo da distribuição da potência por prioridade.	45
Figura 15 - Fluxograma do processo de seleção dos indivíduos.	47
Figura 16 - Fluxograma do processo de cruzamento dos indivíduos.....	48
Figura 17 - Fluxograma do processo de mutação de um indivíduo.....	49
Figura 18 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 1.	51
Figura 19 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 1.....	52
Figura 20 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 2.	53
Figura 21 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 2.....	54
Figura 22 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 3.	55
Figura 23 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 3.....	56
Figura 24 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 4.	57
Figura 25 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 4.....	57

Figura 26 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 5.	59
Figura 27 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 5.....	59
Figura 28 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 6.	61
Figura 29 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 6.....	61

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Casos considerados para simulação.	40
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC - Alternating Current

API - Application Programming Interface

BEV – Battery Electric Vehicle

CCS - Combined Charging System

CFC - Clorofluorcarboneto

CH4 – Gás Metano

CHAdemo - CHARGE de MOVE

CO2 – Dióxido de Carbono

DC – Direct Current

EV – Electric Vehicle

EVSE – Electric Vehicle Supply Equipment

GB – Gigabyte (unidade de medida de informação)

Gt – Gigatonelada (unidade de medida de massa)

GPRS - General Packet Radio Service

GSM - Global System for Mobile Communication

h – hora (unidade de medida de tempo)

HEV – Hybrid Electric Vehicle

IP – Internet Protocol

ISO - International Organization for Standardization

Km - Quilômetros (unidade de medida de comprimento)

kW – Quilowatt (unidade de medida de potência)

kWh – Quilowatt-hora (unidade de medida de energia)

LAN - Local Area Network

OCA – Open Charge Alliance

OCPP - Open Charge Point Protocol

PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle

RFID - Radio Frequency Identification

s – Segundos (unidade de medida de tempo)

SIM - Subscriber Identity Module

SOC – State of Charge

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	18
2.1	<i>Objetivos gerais</i>	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1	<i>Tipos de Veículos Elétricos e Baterias</i>	20
3.2	<i>Modos de Carga</i>	21
3.3	<i>Tráfego de Informações</i>	25
4	ESTADO DA ARTE	27
5	METODOLOGIA	31
5.1	<i>Linguagem de Modelagem Matemática</i>	31
5.1.1	<i>MATLAB</i>	31
5.1.2	<i>Python</i>	31
5.1.3	<i>Escolha da Linguagem Matemática</i>	32
5.2	<i>Sistema Operacional</i>	32
5.3	<i>Metaheurística</i>	33
5.4	<i>Algoritmo Genético de Gerenciamento do Carregamento de Veículos Elétricos</i>	36
5.4.1	<i>Cenário de Simulação Proposto</i>	37
6	RESULTADOS	50
7	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

Há uma grande preocupação mundial quanto a emissão de gases de efeito estufa os quais provocam o aquecimento global. O dióxido de carbono (CO₂) proveniente da queima de combustíveis fósseis, queimadas e desmatamentos são responsáveis por 60% do efeito estufa. O gás metano (CH₄) produzido por queima de biomassa, aterros sanitários entre outras fontes tem participação de 15 a 20% e os clorofluorcarbonos (CFCs) utilizados em itens comerciais e industriais são responsáveis por até 20% (PROCLIMA, 2020).

Desta forma, foi aprovado o Acordo de Paris em 2015, um tratado mundial com o objetivo de reduzir o aquecimento global. As medidas acordadas passam a valer a partir de 2020 para todos os 195 países participantes do acordo (CEBDS, 2019). Como citado, o CO₂ representa um dos gases que tem maior contribuição para o aquecimento global e as emissões globais de CO₂ são da ordem de 7,6Gt (PROCLIMA, 2020). O setor de transporte emprega praticamente 100% de combustíveis fósseis e tem uma participação considerável nas questões climáticas, contribuindo em 22% para a emissão global de gases de efeito estufa (RIBEIRO, COSTA, 2000). Deste modo, observa-se que existe um grande esforço mundial para a redução de veículos a combustão em circulação. O Reino Unido decretou o fim da venda de carros a combustão, incluindo os híbridos, até 2035 (JORNAL DO CARRO, 2020). Madri, Cidade do México e Atenas definiram como data limite 2025 e a França como um todo até 2040, enquanto que no Brasil a Comissão de Constituição de Justiça do Senado Federal aprovou um projeto de lei do Senado de número 304 de 2017 (PLS 304/2017) que define a proibição da venda de veículos movidos a gasolina e diesel a partir de 1º de janeiro de 2030 (BANDEIRA, 2020).

O Brasil possui agências ambientais fiscalizadoras de atividades geradoras de poluição para cada estado, sendo uma das principais a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). A CETESB tem a responsabilidade pelo licenciamento, controle, fiscalização de atividades geradores de poluição e, além disso, avalia e monitora a qualidade ambiental de modo a garantir a qualidade das águas, do ar e do solo em todas as regiões do Estado de São Paulo (CETESB, 2020). Na parte de emissão veicular, são gerados diagnósticos sobre a emissão

da frota circulante e são gerados planos de controle para a fiscalização das emissões veiculares. Para este controle pode-se citar a inspeção ambiental de veículos a qual consiste em uma avaliação periódica vinculada ao licenciamento e unidades móveis de fiscalização equipadas com opacímetros, conforme identificados no Plano de Controle de Poluição Veicular 2017-2019 da CETESB.

Apesar destes esforços para redução da emissão de poluentes terem gerado resultados positivos e as emissões atmosféricas estejam diminuindo em várias regiões do país, a qualidade do ar nas grandes cidades ainda apresenta níveis de poluição inseguros para a população, de acordo com o relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo da CETESB. Como boa parte da poluição atmosférica é proveniente das emissões veiculares, as agências reguladoras e o governo buscaram a introdução de legislação mais restritiva. A aprovação dos novos limites de emissões veiculares, em 2018, trouxe novos desafios para a indústria automobilística, principalmente a fase PROCONVE L8 (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) que entrará vigor a partir de 2025, que traz como novidade a adoção de limites de emissão pela frota de veículos vendidos. Se um fabricante vender muitas unidades de um veículo mais poluente, deverá compensar com a venda de veículos com baixíssima emissão. Assim os fabricantes deverão introduzir cada vez mais veículos elétricos e híbridos no mercado visando manter as emissões de sua frota dentro do estabelecido.

Consequentemente, o mercado de carros elétricos terá um aumento significativo nos próximos anos. Há uma previsão de que no Brasil, em 2030, os carros elétricos representarão 5% da frota, com vendas de 180 mil unidades ao ano (EPOCA NEGOCIOS, 2019). Estima-se que em 2030 o estoque global de veículos elétricos deve atingir em torno de 130 milhões, segundo os dados da *International Energy Agency* (IEA).

Sob a ótica da autonomia, o comportamento do usuário pode influenciar nas estratégias de carregamento. Nos mercados onde há uma quantidade significativa de veículos elétricos, foi popularizado o termo "ansiedade da autonomia", que é o medo que o usuário tem de acabar a bateria do carro no meio da viagem e ficar na rua. Assim, mesmo que não precise, o motorista procura manter a bateria carregada no máximo que pode. Por consequência disso, os potenciais consumidores preferem veículos com consideravelmente mais

autonomia (DIMITROPOULOS, RIETVELD, OMMEREN, 2013). No entanto, estudos práticos demonstraram que a preferência por mais disponibilidade de bateria diminui conforme a experiência do usuário com o veículo aumenta (FRANKE, KREMS, 2013) e que as necessidades de autonomia de boa parte das pessoas estão abaixo de 160 quilômetros por carga (PEARRE et al 2011). Assim, o impacto da ansiedade da autonomia nos hábitos de carregamento tende a diminuir ao longo do tempo.

Diferentemente dos carros a combustão, os veículos elétricos se diferem em dois aspectos: tempo e ambiente de carregamento (GONÇALVES, 2019). O tipo de recarga pode ser classificado em três níveis. No nível 1 a recarga é lenta e pode durar em torno de 8 horas, utilizando uma potência de até 3 kW. Este nível é definido para ambientes residenciais ou empresariais. No nível 2 a recarga pode durar em torno de 4 horas com potência entre 10 e 20 kW, frequentemente este nível é estabelecido entre empresas ou estações públicas. No nível 3 a recarga é rápida e pode durar apenas 30 minutos com potência superior a 40 kW, neste caso deve-se ter uma estação especializada (EVGO, 2020. SOARES, ALMEIDA, LOPES, 2013).

Desta forma, os veículos elétricos representam uma nova carga para o sistema elétrico. Segundo dados da EMOTIVE (2016), um Renault Zoe foi utilizado em um teste para atividades diárias por cerca de 6 meses e representou um acréscimo de 243,7 kWh no consumo mensal da residência do usuário. Logo, além do planejamento para a capacidade do sistema elétrico, as características do modo com que as pessoas realizarão o reabastecimento podem gerar impactos na rede elétrica (GONÇALVES, 2018). Uma situação em que, por exemplo, os funcionários de uma empresa ao chegar ao estacionamento colocam seus carros para realizar a recarga em períodos próximos pode resultar numa sobrecarga do sistema elétrico. Desta maneira, é inevitável que exista um controle sobre as cargas dos veículos elétricos.

Shan Cheng e Peng-Fei-Gao (2018) consideram a utilização de uma função que representa a probabilidade da distância percorrida diária pelo carro elétrico, a potência média em 100 km e a capacidade da bateria para estimar a demanda de carregamento e, a partir de critérios de restrição da rede elétrica como potência de cada carregador, capacidade de potência, entre outros,

estabelecem um algoritmo de otimização para encontrar a solução de carregamento que atenda aos requisitos do sistema.

A questão que se apresenta neste trabalho é a demonstração através de uma prova de conceito do modelamento e respectivo algoritmo de controle de carga coletiva empresarial proposto a uma situação real, adequando seus parâmetros à realidade local. A proposta deve utilizar estratégias inteligentes de maneira a redistribuir a potência de carregamento entre os veículos e a partir das demandas adicionais estabelecer a redistribuição de forma a atender a demanda contratada e, conseqüentemente, não gerar custos adicionais de energia pelo carregamento. Adicionalmente, **ela satisfazer** as necessidades dos usuários e gerar confiabilidade quanto ao sistema de carregamento.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivos gerais

Neste trabalho pretende-se construir um algoritmo genético de gerenciamento de recarga de veículos elétricos a partir dos dados da rede de uma empresa típica que será utilizada como caso de estudo, considerando as restrições da rede empresarial. Considerando o número aproximado de funcionários e uma estimativa da quantidade de veículos elétricos para o 2030, este trabalho visa realizar a simulação de carregamento para o número de veículos estimados e avaliar o funcionamento do algoritmo.

2.2. Objetivos específicos

- Modelar a rede elétrica da empresa típica de acordo com os parâmetros de uma micro-rede, considerando a equação de balanço de potências do sistema e as restrições da rede local como limite de tensão e demanda contratada.
- Elaborar um cenário de simulação baseado em pesquisa com funcionários de uma empresa ou em modelos de micro-redes já existentes.
- Desenvolver um algoritmo de otimização adaptado para o gerenciamento de carregamento de veículos elétricos utilizando-se de metodologias existentes como GRASP, Busca-tabu ou Algoritmo Genético.
- A partir dos dados estimados dos perfis de carregamento dos funcionários ou de modelos existentes realizar a verificação do algoritmo desenvolvido.
- Identificar as restrições da rede empresarial a partir da análise das informações disponibilizadas;
- Encontrar o modelo do carregador adequado para a realidade da empresa;
- Elaborar um cenário de simulação a partir dos dados disponibilizados e das informações referentes aos veículos elétricos existentes no mercado.
- Desenvolver um algoritmo de otimização adaptado para o gerenciamento de carregamento de veículos elétricos utilizando-se o Algoritmo Genético.

- A partir da definição do ambiente de simulação com todas as variáveis referentes a rede da empresa, o modelo do veículo, o modelo do carregador, então validar o algoritmo desenvolvido.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Tipos de Veículos Elétricos e Baterias

Atualmente vem crescendo o conceito de veículos elétricos devido aos impactos danosos ao meio ambiente derivados da contaminação do ar e pela poluição sonora causada pela atuação dos motores a combustão. De outra forma, é uma perspectiva inteligente perante a elevação do preço do petróleo e um possível encerramento do ciclo de utilização de combustíveis fósseis. Todos esses pontos são para atender as pressões internacionais, as quais visam a redução das emissões globais de agentes poluentes que contribuem para o efeito estufa. (CALÇADO, 2015). Sendo assim, os veículos elétricos podem ser classificados da seguinte forma:

Veículos Elétricos Híbridos (HEV): Os veículos híbridos possuem como característica um sistema complementar, ou seja, é constituído por dois motores um á combustão interna a álcool, gasolina ou a diesel e o segundo elétrico, ambos podem atuar de forma conjunta ou separadamente, e o sistema ainda possui um conjunto de baterias e controladores. Os HEV's não podem ser carregados a partir da rede elétrica, sendo assim, as baterias são recarregadas pelo motor a combustão e pela frenagem regenerativa que converte a energia cinética. que seria dissipada pela pastilha de freio, em energia elétrica para a recarga das baterias. (CALÇADO, 2015; ARIAS, 2015).

Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEV): Esse tipo de veículo funciona como os HEV's, porém os PHEV's possuem recarregamento das baterias a partir de fontes externas, ou seja, o veículo pode ser acoplado a rede elétrica através de tomadas. Desta forma, permite uma maior economia no custo de combustível para os usuários (CALÇADO, 2015; ARIAS, 2015).

Veículos Elétricos à Bateria (BEV): Este modelo de veículo é constituído puramente de um motor de tração elétrica, suas baterias necessitam ser recarregadas por uma fonte externa de energia ou também pela frenagem regenerativa que utiliza o motor elétrico atuando como gerador para ajudar na desaceleração do veículo. (CALÇADO, 2015; ARIAS, 2015)

Uma das principais dificuldades atuais encontradas no desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos está no sistema de armazenamento de energia, ou seja, no conjunto de baterias. Esses acumuladores de energia necessitam conter uma elevada densidade de potência e energia, que são características essenciais para a

tecnologia de veículos elétricos e híbridos. Em meio as diversas tecnologias utilizadas na fabricação de baterias, as mais utilizadas no meio automobilístico são:

Hidreto Metálico de Níquel: Este tipo de bateria possui um custo moderado, densidade de energia duas vezes maior que as baterias comuns (chumbo-ácido), mas sua densidade de potência é limitada em relação ao volume (espaço de armazenamento) e possui uma taxa de auto descarga elevada reduzindo assim a vida útil da mesma. São mais adequadas para veículos híbridos. (CALÇADO, 2015; ARIAS, 2015; CPQD, 2015)

Íons de Lítio: Esta bateria possui densidade de energia, densidade de potência e eficiência de carga/descarga superiores as baterias comuns e de NiMH. Porém, possuem custos mais elevados e necessitam de um controle de temperatura, ou seja, muitas vezes necessitam de um elaborado sistema de refrigeração. Essa tecnologia é utilizada em muitos PHEV's e atualmente nos modelos BEV's. (CALÇADO, 2015; ARIAS, 2015; CPQD, 2015)

Chumbo-ácido: São baterias comuns, utilizadas atualmente em veículos a combustão interna. Possuem um valor relativamente baixo, elevada densidade de potência e baixa densidade de energia. (CALÇADO, 2015; ARIAS, 2015; CPQD, 2015).

Nano titanato: Esta bateria utiliza nanotecnologia para sua operação, possuindo uma longa duração, carregamento rápido e uma maior segurança. (CALÇADO, 2015; ARIAS, 2015; CPQD, 2015)

3.2 Modos de Carga

No mercado de equipamentos para recarga de veículos elétricos existem diversos padrões de tomadas com diferentes tecnologias, suas principais características estão descritas na figura 1.

Figura 1 - Tipos de Plugs

TIPO 1	TIPO 2	CHAdemo	CCS
			
Entrada monofásica (120Vca ou 240Vca) para recarga em CA	Recarga em Corrente Alternada (CA)	Recarga em Corrente Contínua (CC)	Recarga em monofásico CA, trifásico CA e rápido CC
Nível 1 – recarga lenta, tensão de 120Vca, corrente máxima 16 A – Utilizado em instalações residenciais	Normal, Semirrápido e Rápida	Potência máxima de 62,5kW	Combo tipo 1 – a parte superior é para recarga CA (nível 1 e 2) até 19kW, a parte inferior possui duas entradas para carga rápida em CC até 100kW
Nível 2 – tensão 240Vca, corrente máxima 80 A – Utilizado em eletropostos públicos	Conexões para sistemas monofásico ou trifásicos, corrente de recarga permitida é de 13 a 63 A e potência de recarga entre 3,7kW e 44kW	Recarga Rápida em CC	Combo tipo 2 – é igual ao combo tipo 1 realiza recargas em CA e CC, porém a parte superior é do tipo 2, com potência até 43kW
Padrão Americano	Padrão Europeu	Padrão Asiático	-

Fonte: CPFL ENERGIA (2019)

3.2.1 Doméstico

Neste modo o usuário conecta o carro em um carregador do Tipo 1 ou Tipo 2 em casa e deixa o veículo carregando, normalmente durante a noite (PAUL STENQUIST, 2019). Enquanto instalações de carregamento de alta tecnologia à beira das rodovias tornará o uso dos carros elétricos mais prático, é a conveniência da disponibilidade de equipamentos domésticos em casa que convencerá muitos usuários a migrar para os elétricos (OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY, [20--]). Mais de 80% dos proprietários de veículos elétricos carregam em casa porque é conveniente e barato. Carregar em uma casa de uma única família normalmente se aproveita das tarifas residenciais mais baratas e estáveis. O custo anual de recarga pode ser menor que o consumo de um aparelho de ar condicionado. Carregar em um complexo residencial de várias famílias, como um condomínio ou um apartamento é possível, mas pode ser complexo e é mais parecido com carregamento público. Os equipamentos de recarga em casa podem ser do tipo 1 (EVSE – Electric Vehicle Supply Equipment) ou do tipo 2, que é um pouco mais complexo. Carregar com carregador do Tipo 2 é mais rápido, porém exigem equipamentos adicionais e adaptações na instalação elétrica.

Figura 2 - Carregador WEMOB WEG residencial com tomada tipo 2



Fonte: WEG, 2020

3.2.2 Carregamento enquanto estacionado

Neste modo o usuário aproveita-se da infraestrutura disponível enquanto usa os serviços do local. É muito utilizada no local de trabalho, estacionamentos de shopping centers e estações públicas de recarga. O serviço normalmente é privado e o carregamento pode ser lento ou rápido. Os carregadores são tipicamente AC do tipo 2 e o serviço pode ser cobrado ou gratuito.

Figura 3 - Carregador EVlink de recarga semi-rápida com tomada tipo 2



Fonte: SCHNEIDER ELECTRIC, 2019

3.2.3 Estações rápidas de carregamento

São estações de carregamento normalmente instaladas em locais públicos que superam todas as limitações do carregamento em corrente alternada. São essenciais para viagens de longas distâncias e grandes frotas. Ao fornecer corrente contínua diretamente à bateria, a velocidade de recarga tem o potencial de ser significativamente aumentada. O tempo de recarga depende também da capacidade da bateria e da capacidade da rede elétrica do local, dentre outros fatores, mas muitos carros têm capacidade de receber uma recarga de 80% em uma hora ou menos na maioria dos carregadores DC disponíveis atualmente. Existem três principais padrões de recarga rápida: o CCS (Combined Charging System), o CHAdeMO (CHArge de MOve) e o modelo proprietário da Tesla.

Figura 4 - Carregador ABB rápido com suporte para CCS, CHAdeMO e AC de tipo 2 (opcional) cabo AC de 22 ou 43 kW ou tomada CA de 22 kW.



Fonte: ABB, 2020

3.3 Tráfego de Informações

Existem vários participantes no âmbito do carregamento de veículos elétricos como os fabricantes de veículos, fabricantes de estações de recarga, empresas responsáveis pela operação das estações de recarga, **concessionário** de energia elétrica entre outras. Desta forma, é necessário que exista flexibilidade da utilização do veículo elétrico no momento da recarga e ocorram padronizações de equipamentos assim como dos protocolos de comunicação (VENTURUS, 2020).

Quanto a questão dos equipamentos, já existem iniciativas quanto a padronização de conectores para permitir que o usuário possa carregar seu veículo para que haja compatibilidade entre os conectores e os sistemas de recarga. Em relação a padronização da comunicação entre os equipamentos e o veículo foram criados dois protocolos específicos para o processo de recarga os quais estão sendo amplamente utilizados: a ISO 15118 e o OCPP (VENTURUS, 2020).

A ISO 15118 se enquadra em um padrão internacional da *International Organization for Standardization* (ISO) e especifica a comunicação entre o veículo elétrico e a estação de carga. Determina os termos e definições para transferência de energia sem fio ou com fio, transferência de energia tanto da estação de carregamento

ao veículo quanto do veículo a estação para fornecimento de energia e entendimento do processo de autenticação e pagamento da recarga (ISO, 2019). Então, pela interoperabilidade entre o veículo e a estação oferece o Plug & Charge (Conecta & Carrega) o qual permite que o veículo seja reconhecido pelo ponto de recarga e o serviço seja autorizado. Também, esta modalidade possibilita que a cobrança seja realizada de forma eletrônica (VENTURUS, 2020).

Por outro lado, o OCPP (Open Charge Point Protocol - Protocolo de Ponto de Recarga Aberta), definido pela OCA (Open Charge Alliance - Aliança de Recarga Aberta), é um protocolo para comunicação entre a estação de recarga e o sistema de gerenciamento dos operadores de recarga de veículos elétricos. Desta maneira, o OCPP permite que independentemente do fabricante do equipamento de recarga várias estações de carregamento possam ser gerenciadas remotamente por meio de um sistema de gerenciamento (VENTURUS, 2020).

A partir da utilização do protocolo OCPP o gerenciamento pode ser realizado remotamente. Então são observados parâmetros referentes a demanda atual em relação a demanda contratada e a gestão da carga de cada ponto de recarga para que o limite de demanda contrata não seja ultrapassado. Também este gerenciamento pode ser realizado localmente se existir um sistema operacional adaptado para a gestão do carregamento dos veículos elétricos (SCHNEIDER ELECTRIC, 2019).

4 ESTADO DA ARTE

A partir das normatizações de redução de CO₂ para 2020/21 espera-se que a produção europeia atinja 4 milhões de veículos elétricos anualmente em 2025. Desta forma, a partir do relatório de Transportes e Meio Ambiente da Federação Europeia (2020), é possível observar o planejamento estratégico para a instalação de pontos de carregamento de maneira a atender a demanda de carregamento dos EVs. Ao final de 2019 estava previsto 185.000 pontos públicos de carregamento na Europa e o plano visa atingir a instalação de 1,3 milhões de pontos públicos em 2025 por todo o continente e perto de 3 milhões em 2030. O plano principal também inclui a cobertura completa de **toda a estrada europeia** em 2025 (TRANSPORT & ENVIRONMENT, 2020).

Em relação a infraestrutura de carregamento, todas as estações públicas de carregamento devem ser equipadas com sistema de medição inteligente, o qual realiza a medição do consumo de energia e pode transmitir e receber dados de forma eletrônica. Desta forma, tanto o usuário recebe informações de custos e preços pelo carregamento quanto o sistema de operação recebe informações de consumo. Entretanto, em aplicações de carregadores privados, esta abordagem não se aplica devido a menor potência de carregamento e a utilização do ponto de carga por maior tempo. Logo, pode ser incluído um sistema de medição inteligente que controla a potência de carregamento de forma a modular a carga para carregar em períodos fora de ponta (TRANSPORT & ENVIRONMENT, 2020).

Deste modo, algumas empresas têm desenvolvido algumas tecnologias que visam atender as expectativas quanto ao carregamento dos veículos elétricos. A Schneider Electric apresenta as soluções EVLink tanto para residência quanto para estações públicas e privadas, possuindo carregadores dos modos 2, 3 e 4 (SCHNEIDER ELECTRIC, 2019).

O ponto de carga EVLink pode operar de forma independente na estação de forma que os pontos de carga são conectados no mesmo painel de proteção, porém efetuam o carregamento de forma independente. O consumo pode ser medido e as estações podem ser conectadas a um supervisor para gerenciamento do carregamento para determinar o limite de potência a ser utilizado baseado na demanda diária. Se conectado a um supervisor, a comunicação pode ser realizada através do protocolo OCPP ou a supervisão pode ser realizada localmente através de um sistema de gerenciamento por modbus TCP/IP (SCHNEIDER ELECTRIC, 2019).

Outra forma alternativa para gerenciar a disponibilidade de energia é o EVLink Load Management System (Sistema de Gerenciamento de Carga EVLink). Com este sistema é possível considerar as necessidades relacionadas ao uso dos veículos que serão carregados e controlar de 3 a 1000 pontos de carga a partir da utilização do EVLink Load Management System associado a um medidor de potência, conexão 3G/4G e, se necessário, pode ser conectado a um supervisor. Ao conectar o veículo ao carregador, o carregamento inicia, entretanto, a potência de saída pode ser automaticamente limitada de forma a atender as restrições definidas no EVLink Load Management System no que diz respeito ao custo e a eficiência energética. O controlador opera de acordo com os parâmetros selecionados e dados recebidos dos pontos de carga (SCHNEIDER ELECTRIC, 2019).

Outra empresa atuante no mercado de carregamento de veículos é a ABB a qual apresenta diversas soluções para sistemas de carregamento de veículos elétricos. Dessa forma, dentre as suas soluções se destaca a plataforma EVLunic. Esta solução é utilizada tanto para setores públicos quanto para setores comerciais. Sendo eles encontrados em quatro diferentes níveis de especificação.

O modelo EVLunic em suas versões mais completas possui um sistema de autenticação via RFID. Este modelo possui um sistema de rede do tipo mestre/escravo tornando possível o carregamento com gerenciamento de carga. O dispositivo mestre (Pro M-series) pode ser conectado a um roteador/switch através de uma interface LAN, Wi-Fi, ponto de acesso Wi-Fi ou GSM. Se a interface utilizada for do tipo LAN ou WLAN (Wi-Fi) o roteador deve estar conectado à internet para que possa se conectar a um back-end OCPP. Já se a interface escolhida for por ponto de acesso Wi-Fi permite que o dispositivo master possa se conectar a um dispositivo móvel, após se conectar é possível executar configurações através da interface da web. Para realizar a conexão com um back-end OCPP externo via GSM, um cartão SIM deve ser instalado durante o comissionamento, possibilitando a conexão pela rede celular. (ABB GROUP, 2019)

O dispositivo master é capaz de controlar até 15 dispositivos escravos do tipo Pro S-series e ainda permite configurar a corrente máxima para o grupo de carregadores e os mesmos enviam a informação para os veículos sobre qual o valor do limite de corrente que pode ser fornecido pelo sistema, desta forma a demanda não é ultrapassada (ABB GROUP, 2019).

No Brasil a situação da infraestrutura de recarga ainda é pequena e insuficiente para atender a demanda dos veículos elétricos. Não existe uma estatística oficial, mas segundo o aplicativo PlugShare, há pouco mais de 300 estações de carregamento no país, a maioria nas grandes cidades da costa brasileira, ao passo que em 2019 existiam 40.021 postos de combustíveis, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo.

Este cenário deverá ser diferente nos próximos anos. Estudos da CPFL Energia estimam que o Brasil precisará de 80 mil eletropostos públicos até 2030 para acompanhar o ritmo de crescimento do mercado de veículos elétricos nacional. A regulamentação do setor também está se movimentando. Em julho de 2018, a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) publicou a Resolução Normativa 819/2018 que disciplina a recarga de veículos elétricos no Brasil. A norma permite que qualquer interessado, tais como distribuidoras, postos de combustíveis, shopping centers e empreendedores, realize serviços de recarga com fins comerciais, a preços livremente negociados. A Agência optou por uma regulamentação leve, garantindo a viabilidade dessa atividade sem impacto nas tarifas dos consumidores de energia elétrica.

O Brasil vem buscando o mercado de estações de carregamento para veículos elétricos, um exemplo disso é a empresa brasileira WEG que trouxe para o mercado seu modelo WEMOB, um modelo de posto de recarga voltado tanto para ambientes públicos como para comerciais. Essa central está disponível em dois grandes grupos os Wall e Parking.

O modelo Wall é indicado para uso interno ou externo com grau de proteção IP54. Este dispositivo possui funções contra curto-circuito, sobrecorrente e falha de comunicação, além de bloqueio/liberação de carga por chave mecânica. Esse modelo possui conexão com o usuário de forma automática e não utiliza os protocolos de comunicação OCPP, RFID, WEMOB Management Platform (Plataforma/APP/API), GPRS e Ethernet. (WEG, 2020)

O modelo Parking foi desenvolvido para uso compartilhado em estacionamentos públicos e privados. Este modelo permite o carregamento de até dois veículos de forma simultânea e seu controle é realizado de forma segura via protocolo RFID, aplicativos para celular ou através de operações automáticas. O gerenciamento remoto inteligente é realizado através do protocolo Open Charge Point Protocol (OCPP), que permite conectar as estações com os usuários e operadores através de

portais na nuvem. Além disso, este modelo possui os protocolos de comunicação OCPP1.6, GPRS, Ethernet e WEMOB Management Platform (Opcional). (WEG, 2020)

5 METODOLOGIA

Após realizar o estudo teórico ao longo do processo de desenvolvimento desse projeto, analisou-se as características do carregamento dos veículos elétricos em um ambiente empresarial com o intuito de modelar matematicamente de forma a respeitar os parâmetros da realidade local e satisfazer as necessidades dos usuários.

Para o desenvolvimento, foi utilizada a linguagem de modelagem matemática voltada para o processo de otimização de sistemas, com o intuito de facilitar o desenvolvimento de uma metaheurística que atenda ao problema proposto.

5.1 Linguagem de Modelagem Matemática

Atualmente a diversas linguagens de modelagem matemática presentes no mercado e cada uma delas possui características próprias, o que permite que o desenvolvedor realize simulações com níveis diferentes de alcance de dados. Nesse projeto, verificou-se a possibilidade de utilizar duas linguagens de programação *MATLAB* (*Matrix Laboratory*) e *Python*.

5.1.1 MATLAB

O *Matlab* é um software e uma linguagem de programação interativa de alta performance voltado para cálculo numérico desenvolvido pela *MathWorks*, essa ferramenta permite a análise numérica, cálculo com matrizes e vetores, processamento de sinais, construções gráficas de forma eficiente, modelagem e simulação de diferentes algoritmos (MATHWORKS, 2020).

5.1.2 Python

O *Python* é uma linguagem de programação de alto nível desenvolvida pelo *Guido van Rossum*, essa ferramenta permite a orientação a objeto, é interpretada, legível, multiplataforma, multiparadigma e é usada em diferentes aplicações, desde desenvolvimento web até redes neurais (PYTHON, 2001).

5.1.3 Escolha da Linguagem Matemática

Ambas as linguagens são eficientes para a otimização de sistemas complexos. Dessa forma, foi realizada uma análise das funções que seriam necessárias para o desenvolvimento do modelo matemático e simulações.

A partir da análise, foi possível constatar que as duas linguagens são igualmente eficazes para a realização do trabalho, com isso, escolheu-se o software e linguagem Matlab, dada as vantagens de facilitar a análise numérica, cálculo com matrizes e vetores, processamento de sinais, construção gráficas, modelagem e simulação de diferentes algoritmos.

5.2 Sistema Operacional

Para realizar o desenvolvimento do algoritmo e simulações, o fabricante orienta que para a utilização do software são necessários alguns requisitos de configuração mínimos, mostrados na Figura 4.

Figura 5 - Requisitos mínimos para utilização do software Matlab.

Windows	Operating Systems	RAM
Mac	<ul style="list-style-type: none"> Windows 10 (version 1803 or higher) Windows 7 Service Pack 1 Windows Server 2019 Windows Server 2016 	<p>Minimum: 4 GB</p> <p>Recommended: 8 GB</p> <p>For Polyspace, 4 GB per core is recommended</p>
Linux	<p>Processors</p> <p>Minimum: Any Intel or AMD x86-64 processor</p> <p>Recommended: Any Intel or AMD x86-64 processor with four logical cores and AVX2 instruction set support</p> <p>Disk</p> <p>Minimum: 3.5 GB of HDD space for MATLAB only, 5-8 GB for a typical installation</p> <p>Recommended: An SSD is recommended</p> <p>A full installation of all MathWorks products may take up to 32 GB of disk space</p>	<p>Graphics</p> <p>No specific graphics card is required.</p> <p>Hardware accelerated graphics card supporting OpenGL 3.3 with 1GB GPU memory is recommended.</p> <p>GPU acceleration using Parallel Computing Toolbox requires a GPU that has a compute capability 3.0 or higher. For more information, see GPU Support by Release.</p>

Fonte: MathWorks

Levando em conta as especificações, a máquina utilizada foi o notebook pessoal do desenvolvedor do projeto, que é compatível com os requisitos mínimos

descrito pela Mathworks. O software Matlab foi adquirido a partir de uma licença teste fornecida pela OPENCADD com duração de 1 ano.

5.3 Metaheurística

Os métodos exatos de resolução de problemas de otimização, em muitos casos, exigem mais processamento computacional. A sua utilização para resolução de problemas contendo uma grande quantidade de dados é inviável, devido ao conjunto que compreende as possíveis soluções contendo as variáveis do problema a ser otimizado aumentar de forma exponencial. A metaheurística é um método heurístico para resolver problemas de otimização combinatória, que visa entregar boas soluções em um tempo aceitável e geralmente é aplicada em problemas de difícil resolução, onde não se conheça outro tipo de algoritmo para resolução do mesmo (SILVA, 2019).

5.3.1 Metaheurística Híbridas

Metaheurística Híbrida é o termo utilizado para definir a combinação de uma metaheurística com outra técnica de otimização. Esse processo visa combinar as melhores características de cada técnica, de forma a aprimorar a velocidade ou precisão computacional.

Os algoritmos genéticos utilizam operadores genéticos como reprodução, cruzamento e mutação nos cromossomos para gerar novas populações através da combinação de melhores soluções progressivamente aperfeiçoadas (SILVA, 2019).

5.3.2 Algoritmo Genético

Os algoritmos genéticos são uma classe dos algoritmos evolutivos, que possuem como base a teoria da seleção natural descrita por Darwin (1953). O cientista John H. Holland (1975) foi o responsável por introduzir o método de simular matematicamente os fenômenos da seleção natural, adaptando-os para um modelo computacional. Em algoritmos genéticos, uma população de possíveis soluções para o problema em questão evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, de modo que há uma tendência de que, na média, os

indivíduos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo continua (TANAMARU,1995).

Na solução de questões, os algoritmos genéticos seguem as fases do processo evolutivo, como mostra a figura 6.

Figura 6 - Etapas do algoritmo genético.



Fonte: Adaptado de Holland (1993)

Os algoritmos genéticos possuem algumas definições fundamentais para o entendimento:

- Indivíduo

No algoritmo genético, os indivíduos são denominados cromossomos, suas características são designadas como genes e os valores contidos em cada gene são chamados de alelos. De forma geral, cada indivíduo possui graus de adaptação diferentes o que é determinada por uma função objetivo (meio em que vive). Essa avaliação realizada sob o cromossomo determina o grau de adequabilidade do indivíduo.

- População

Uma população é formada a partir de processos evolucionários como seleção, análise, cruzamento e mutação. Uma geração de determinada população é representada pelo número de vezes que seus membros passaram pelos processos de evolução.

- Inicialização

A população inicial é gerada de forma aleatória, esse processo é realizado com o intuito de criar uma grande variedade de indivíduos o que faz com que o espaço de busca aumente de forma exponencial.

- Avaliação

Tem como função avaliar se o indivíduo atende a função objetivo e se está apto para fazer parte da nova população, além de auxiliar o processo de busca.

- Seleção

Nessa fase, os indivíduos são avaliados levando em conta as suas características de adaptação, esse processo é realizado com o intuito de obter uma melhor propagação para as próximas gerações. O processo de seleção está baseado na sobrevivência dos melhores indivíduos.

- Reprodução

Tendo uma probabilidade pré-estabelecida pelo *crossover* os indivíduos na fase de reprodução seguem o processo de combinação de parte dos genes dos pais, gerando assim novos filhos. Esse processo geralmente é realizado em indivíduos selecionados de forma aleatória.

- **Mutação**

Nesta fase o algoritmo realiza o mesmo processo descrito no fenômeno de mutação genética que ocorrem em indivíduos em seus ambientes naturais, substituindo valores de alguns genes de forma aleatória. Esse processo é realizado até que satisfaça um critério de parada, métodos como a mutação ajudam os cromossomos a buscar novas áreas, o que faz com que o algoritmo busque melhores situações.

- **Atualização**

O processo de atualização ocorre após a realização do cruzamento e mutação, onde é responsável por aplicar os novos indivíduos sob os que deram origem ao processo. Essa atualização pode ser realizada da forma descrita ou somente quando os indivíduos forem mais aptos.

- **Finalização**

É o processo realizado para verificar se o algoritmo atingiu o nível de adequabilidade do critério de parada determinada pela função objetivo.

5.4 Algoritmo Genético de Gerenciamento do Carregamento de Veículos Elétricos

O conceito de veículos elétricos vem crescendo devido aos impactos danosos ao meio ambiente derivados da contaminação do ar e pela contaminação por ruídos causados pela atuação dos motores a combustão. O Brasil até o presente momento não possui políticas públicas ou regulamentações no setor elétrico em relação a utilização e recarga dos veículos elétricos, esse fato faz com que haja uma preocupação por parte do setor elétrico devido inserção de novas cargas na rede sem um estudo prévio. A imprevisibilidade da incorporação de novas carga, refere-se ao alto índice de variáveis aleatórias que podem afetar a rede, como por exemplo (COPPE-UFRJ,2019; DE CASTRO, 2019; FALCÃO, 2019; COLOMBARI, 2019):

- Local de Carregamento;
- Horário de Carregamento;
- Nível da bateria no momento da conexão na rede;
- Tendência de crescimento da demanda vinculada à decisão de adquirir veículos elétricos.

Os impactos dos veículos elétricos na rede elétrica são diversos, um bom exemplo é o horário de carregamento, pois se uma grande parcela dos usuários decidirem carregar seus veículos no mesmo horário da demanda de ponta como em dias de jogos da Copa do Mundo, finais de séries e programas ou cotidianamente entre as 18horas e 21horas (COPPE-UFRJ,2019; DE CASTRO, 2019; FALCÃO, 2019; COLOMBARI, 2019).

Sabendo que a transição dos veículos a combustão para os veículos elétricos é inevitável, devido à grande pressão mundial pela redução de emissões de gases do efeito estufa, dessa forma, as preocupações com eventuais falhas do sistema de energia são importantes, para assegurar as operações seguras, eficientes e de forma sustentável, além da necessidade crescente de políticas públicas regulatórias, econômicas e sistemas de gerenciamento de cargas (COPPE-UFRJ,2019; DE CASTRO, 2019; FALCÃO, 2019; COLOMBARI, 2019).

5.4.1 Cenário de Simulação Proposto

Para a escolha do modelo dos veículos a ser utilizado considerou-se um modelo compacto devido os modelos que mais destacarem em 2019 (AUTOESPORTE, 2019) serem modelos compactos como Chevrolet Onix e Renault Kwid e em 2020 o Fiat Argo (EXAME, 2020). Desta forma, adotou-se para a simulação o modelo Renault Zoe, classificado como 100% elétrico. Possui bateria com capacidade de 41kWh, autonomia de 300km e tempo de carregamento de 3 a 10 horas (AUTOESPORTE, 2020). O tempo de carregamento utilizado para simulação foi de 6 horas.

Figura 7 - Renault Zoe

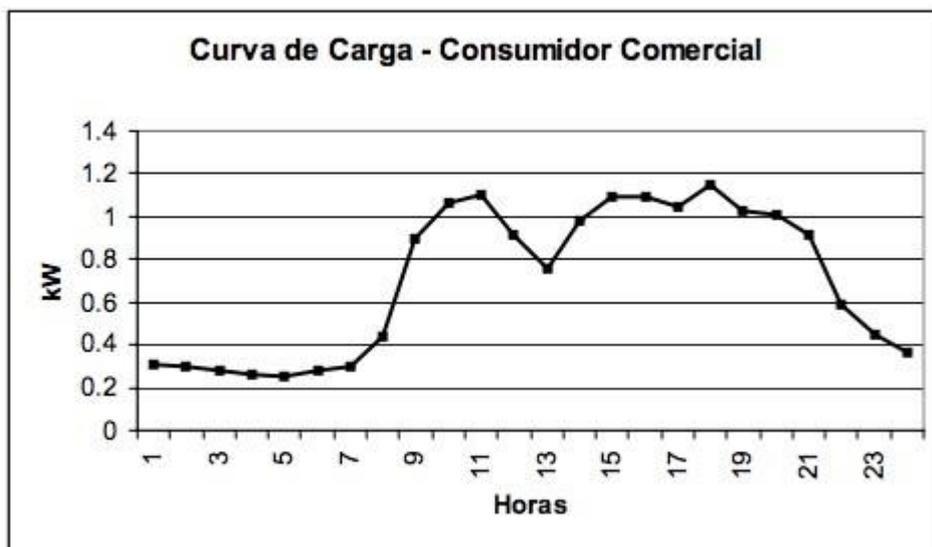


Fonte: AUTOESPORTE, 2020.

Um parâmetro essencial da bateria que foi considerado nas simulações foi o SOC (State of Charge). Este parâmetro indica o nível de carga da bateria em porcentagem relativa à sua capacidade. Desta forma, um veículo com 10% de SOC está com apenas 10% da capacidade disponível da sua bateria. Deste modo, foram considerados casos de SOC a 0%, 25%, 50%, 75% e 95%.

O ambiente escolhido de simulação foi a empresa Venturus. Desta forma foram disponibilizadas informações sobre o contrato de energia para que fosse possível estimar a curva de carga da empresa. A demanda contratada foi considerada de 770kW, conforme contrato. Para estimar a curva de carga da empresa considerou-se uma curva típica de consumo. Como o horário de trabalho dos funcionários da Venturus obedece ao horário comercial, das 08h até às 17h, e como o horário de almoço é em torno de 12h às 14h quando ocorre o desligamento de equipamentos como ar condicionado, entre outros, então considerou-se o padrão de uma curva de carga de um consumidor comercial, conforme figura 8.

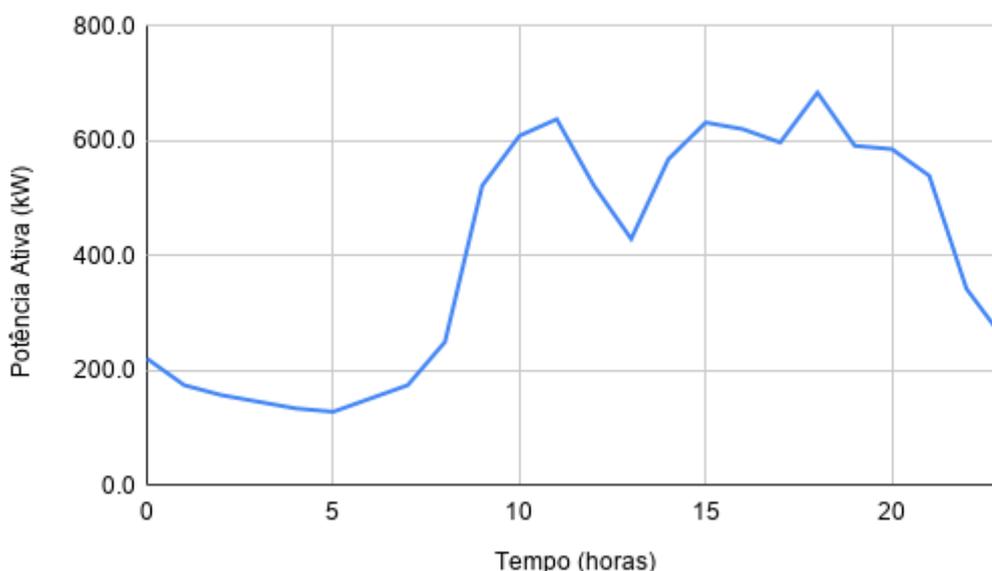
Figura 8 - Curva típica comercial



Fonte: CURVA DE CARGA, 2016.

Logo, a partir dos dados de energia média mensal foi estimado o valor de energia diária média e então a potência ativa média utilizada pela empresa diariamente. A partir disso distribuiu-se este valor encontrado de potência média diária de 7795kW de forma proporcional de acordo com a curva típica da figura 7. Desta forma, a curva de carga utilizada para as simulações se encontra na figura 9.

Figura 9 - Curva de carga estimada da empresa Venturus



Fonte: O autor (2020)

Como descrito anteriormente que os funcionários trabalham em horário comercial o tempo de simulação foi considerado das 08h até às 18h, considerando 10 horas de simulação.

A empresa tem em torno de 250 funcionários, como estima-se que em 2030 os veículos elétricos vão representar 5% da frota brasileira (EPOCA NEGOCIOS, 2019) então considerou-se um número máximo de 12 veículos elétricos e como mínimo de 4 veículos.

O modelo do carregador utilizado para simulação foi escolhido do catálogo da SCHNEIDER ELECTRIC (2019). Então, o modelo apropriado para um ambiente empresarial seria o modelo EVlink Parking, podendo-se ser aplicado em casas e condomínios também. Este modelo disponível em 7,4kW ou 22kW, considerou-se então um modelo de 22kW disponível para cada veículo. Este modelo também é aplicável a realidade da empresa pois permite ser conectado ou não a um sistema de supervisão pelos protocolos de comunicação OCPP 1.5 ou OCPP 1.6, o que permitiria o gerenciamento dos carregadores.

Na tabela 1 se encontram os casos de simulação a partir dos parâmetros descritos anteriormente considerando a variação do parâmetro de SOC para cada veículo em três casos diferentes (a, b e c):

Tabela 1 - Casos considerados para simulação.

Capacidade da Bateria (kWh)	41	41
SOC (%)	a) 0, 0, 0, 0 b) 25, 50, 0, 0 c) 25, 50, 75, 95	a) 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0. b) 25, 25, 25, 50, 50, 50, 0, 0, 0, 0, 0, 0. c) 25, 25, 25, 50, 50, 50, 75, 75, 75, 95, 95, 95.
Horário de simulação:	08h-18h	08h-18h
Número de veículos:	4	12
Potência do carregador (kW)	22	22
Autonomia Disponível (Km)	a) 0, 0, 0, 0 b) 75, 150, 0, 0 c) 75, 150, 225, 285	a) 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0. b) 75, 75, 75, 150, 150, 150, 0, 0, 0, 0, 0, 0. c) 75, 75, 75, 150, 150, 150, 225, 225, 225, 285, 285, 285.
Tempo de Espera (s)	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0

Fonte: o autor (2020)

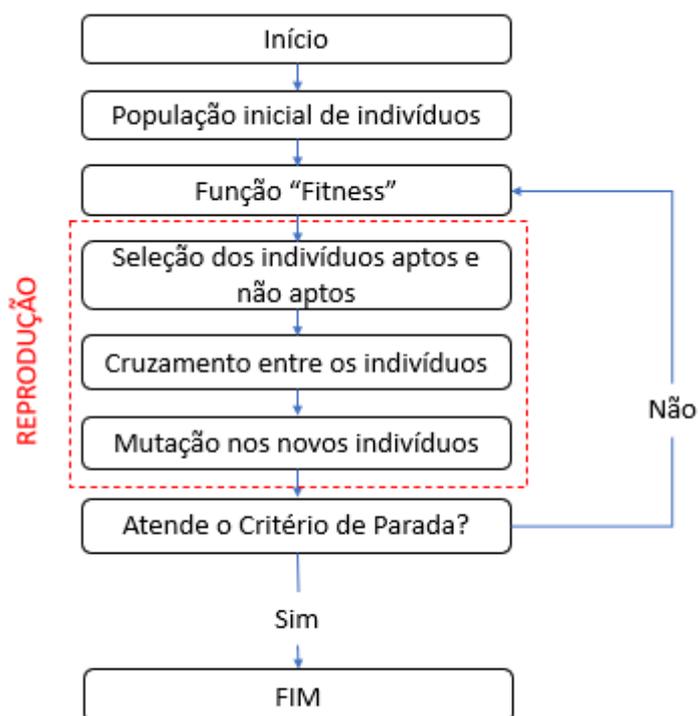
As seguintes restrições deveriam ser respeitadas durante a simulação:

- Tempo limite de carregamento de cada veículo de no máximo 6 horas;
- A soma das potências de todos os carregadores não deveria exceder o valor da demanda contratada de 770kW.

5.4.2 Fluxograma Geral do Algoritmo de Gerenciamento

A implementação do algoritmo genético em processos de otimização é cada vez mais comum. Nesse trabalho foi aplicado no desenvolvimento de sistemas de gerenciamento do carregamento de veículo elétricos, seguindo as mesmas etapas do algoritmo genético, como apresentado na figura 10.

Figura 10 - Etapas do algoritmo genético aplicado ao problema de otimização do carregamento de veículos elétricos.



Fonte: autor (2020)

O algoritmo genético para otimização do carregamento de veículos elétricos assumiu as seguintes informações fundamentais:

- **Indivíduos**

Os indivíduos nesse processo são matrizes “i x j”, onde os índices da matriz são respectivamente os termos que representa os períodos e os veículos estudados, os genes são cada coluna da matriz e os valores de potência contidos em cada posição do gene é chamado de alelo.

O processo de geração de indivíduos possui algumas características:

- Somente são gerados indivíduos válidos respeitando as restrições de demanda e tempo limite de carregamento;
- Os indivíduos são gerados de forma aleatória e multiplicados pelo valor de potência do carregador;
- Os genes são recalculados a cada período previamente determinado de 15 minutos.
- A cada período os níveis de estado de carga, energia e tempo de espera são atualizados.

Figura 11 - Exemplo de um indivíduo do problema.

INDIVÍDUO	PERÍODO	1	2	3	4
1	C1	15	2	10	11
1	C2	14	6	22	4
1	C3	17	15	12	8
1	C4	14	12	6	20

Fonte: autor (2020)

- **População Inicial**

A população inicial é o conjunto de ‘n’ indivíduos gerados de forma randômica, a partir da aplicação das características dos carregadores, veículos e das prioridades do problema proposto.

A figura 12 mostra uma população inicial de 4 indivíduos, sendo que o número de indivíduos é previamente definido.

Figura 12 - Exemplo de uma população inicial do problema

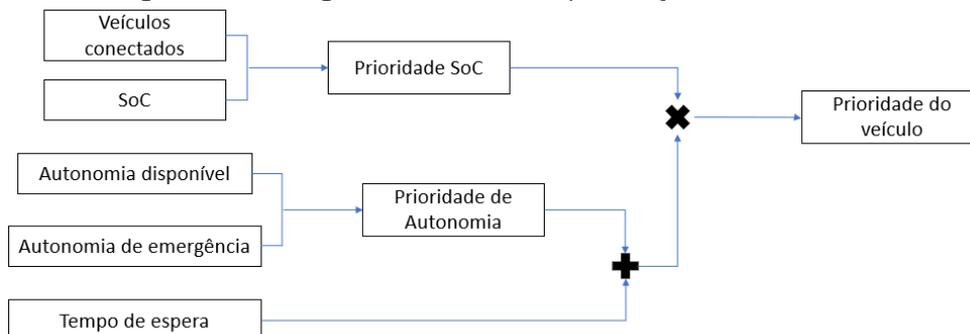
INDIVÍDUO	PERÍODO	1	2	3	4
1	C1	15	2	10	11
1	C2	14	6	22	4
1	C3	17	15	12	8
1	C4	14	12	6	20
2	C1	19	10	17	21
2	C2	2	1	15	4
2	C3	13	13	4	2
2	C4	3	18	20	21
3	C1	6	16	4	0
3	C2	12	6	7	14
3	C3	16	5	4	4
3	C4	17	10	6	2
4	C1	15	5	15	3
4	C2	6	5	6	2
4	C3	21	16	22	7
4	C4	15	17	21	16

Fonte: autor (2020)

- Priorização

Para garantir que os veículos com maior necessidade de carregamento atingissem um ponto mínimo para satisfazer o usuário, fez-se necessário a realização do cálculo de prioridade. Os passos do processo de cálculo da priorização podem ser vistos na figura 13.

Figura 13 - Fluxograma do cálculo de priorização.



Fonte: autor (2020)

O processo de priorização leva em consideração fenômenos fundamentais para o carregamento dos veículos:

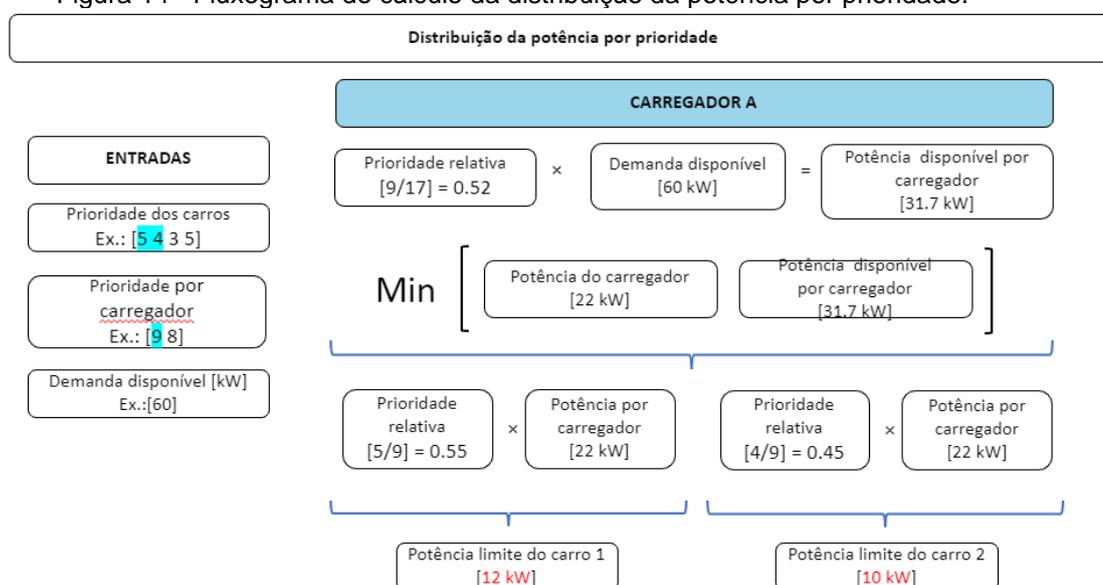
- Veículos Conectados: é um vetor binário de 0 e 1, onde '0' representa que o veículo não está conectado e '1' que o veículo está conectado a fonte de recarga.
- Estado de Carga (*SoC – State of Charge*): essa etapa garante que para o carregamento do veículo o estado de carga do momento que foi plugado na unidade de recarga seja menor do que o estado de carga desejado pelo usuário.
- Prioridade *SoC*: garante que todos os veículos estão conectados na rede de carregamento e se atendem a condição de carga, ou seja, define quais veículos carregam.
- Autonomia Disponível: é a capacidade que o veículo tem de percorrer em quilômetros com o nível de energia da bateria naquele instante.
- Autonomia de Emergência: é a capacidade mínima que o veículo tem que atender em quilômetros. Neste trabalho o valor de autonomia de emergência assumido foi de 100 km.
- Prioridade de Autonomia: é a pontuação que cada veículo recebe em relação a autonomia de emergência. Para a realização do cálculo foi considerado a razão entre o peso de autonomia e a autonomia de emergência, considerando o peso de autonomia igual a 5. Essa razão é denominada coeficiente angular, ou seja, é a inclinação da reta de prioridade de autonomia de emergência.
- Tempo de Espera: é o tempo em que o veículo espera para ser carregado. O tempo de espera recebe uma pontuação, que é calculado a partir da razão entre o peso do tempo de espera e o tempo máximo de carregamento. Para

este problema o peso assumido para o tempo de espera é 5 e para o tempo máximo de carregamento é de 6 horas.

- Propriedade do Veículo: é a pontuação que o veículo recebe baseado na sua necessidade de recarga. Esta pontuação pode ser calculada a partir da relação entre a soma da prioridade de autonomia e do tempo de espera, multiplicados pela propriedade do SoC.
- Distribuição de Potência por Prioridade

Após determinar a propriedade que o veículo possui para o seu carregamento, é necessário realizar a distribuição da potência baseando-se no grau de prioridade dos indivíduos. O fluxograma da Figura 14 mostra um exemplo do processo utilizado para o cálculo da distribuição de potência desse trabalho.

Figura 14 - Fluxograma do cálculo da distribuição da potência por prioridade.



Fonte: autor (2020)

O desenvolvimento da distribuição de potência por prioridade leva em consideração alguns passos fundamentais.

- Potência Disponível por Carregador: é o valor determinado a partir da relação da prioridade relativa do carregador e da demanda disponível. A prioridade

relativa é calculada a partir da razão entre a soma das prioridades pertencentes aquele carregador e a soma das prioridades de todos os veículos plugados na fonte de carregamento.

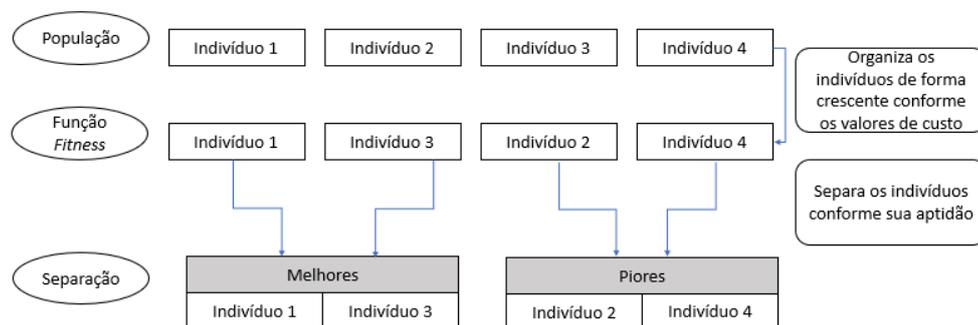
- Comparação: essa etapa do processo busca encontrar a potência mínima com base na potência do carregador e na potência disponível por carregador. A potência do carregador utilizada para as simulações é de 22 kW e a potência disponível por carregador é determinada no item anterior, levando em conta a demanda disponível sem que haja sobrecarga na rede local.
 - Potência limite por veículo: é o valor máximo de potência que está disponível para determinado veículo. Esse cálculo é realizado tendo como base a relação entre a prioridade relativa do veículo e potência determinada no passo de comparação. A prioridade relativa do veículo é calculada pela razão entre a propriedade de determinado veículo e a soma das prioridades dos veículos do carregador em que ele se encontra conectado.
- Função *Fitness*

A função *fitness* ou função objetivo, é utilizada para definir quem são os indivíduos mais aptos para resolver de forma a maximizar ou minimizar uma ou mais variáveis que se deseja otimizar. Neste trabalho buscou-se minimizar o custo de carregamento, respeitando as restrições de demanda e tempo limite de carregamento. Assumindo que a demanda contratada da empresa é de 770 kW e o tempo de carregamento de até 6 horas.

- Seleção do Indivíduos

Os indivíduos gerados são avaliados levando em conta os valores de custo adquiridos pela função *fitness* do problema e organizados de forma crescente facilitando assim a seleção. No problema de otimização do carregamento os indivíduos são separados em 'melhores' e 'piores', ou seja, os que possuem menor custo são os indivíduos mais aptos e se tornam 'melhores', já os menos aptos se tornam 'piores', como é observado na figura 15.

Figura 15 - Fluxograma do processo de seleção dos indivíduos.



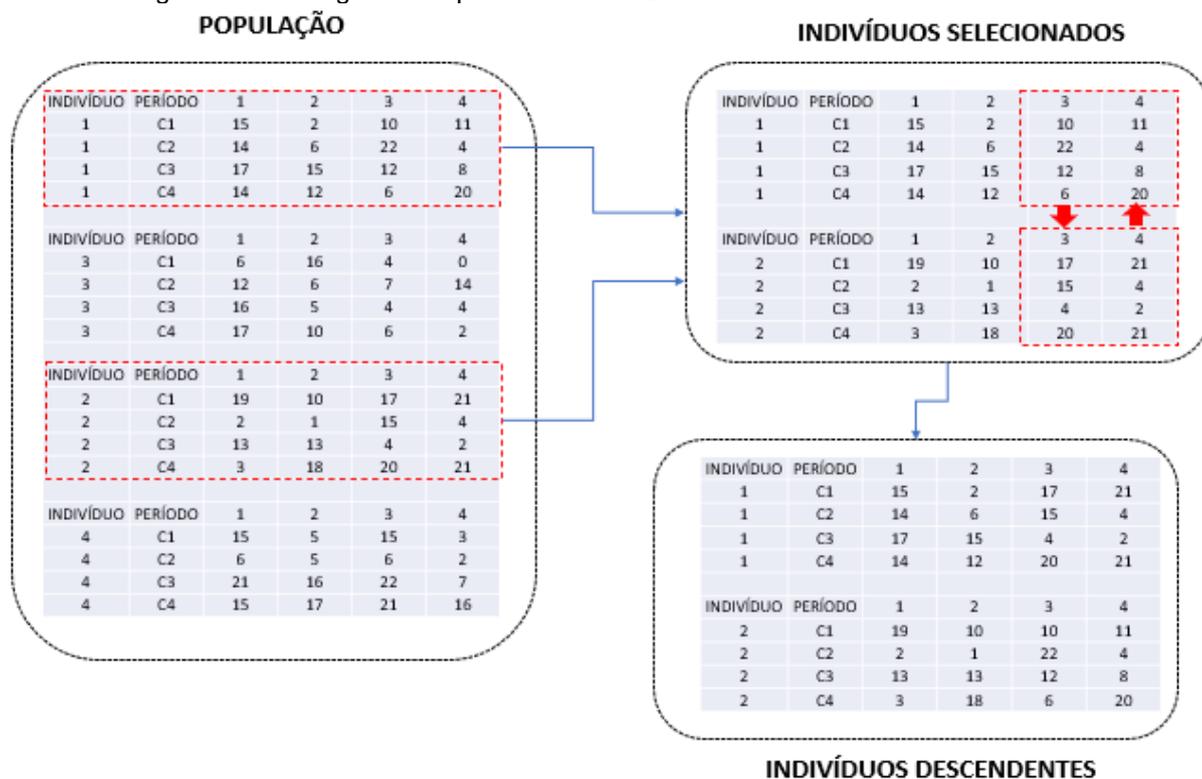
Fonte: autor (2020)

- Cruzamento

A operação de cruzamento é realizada a partir de dois indivíduos progenitores, primeiro é definido aleatoriamente um ponto (período) de cisão que dividirá ambos os cromossomos em duas partes. Em seguida, a primeira parte do primeiro cromossomo será unida com a segunda parte do segundo cromossomo formando assim o primeiro descendente, após esse passo, a primeira parte do segundo indivíduo é unida com a segunda parte do primeiro cromossomo, gerando assim o segundo descendente (DRÉO, 2006) (NERY, 2017).

Neste trabalho são selecionados de forma aleatória dois indivíduos um 'melhor' (apto) e um 'pior' (menos apto) sendo eles matrizes ' $i \times j$ '. Após a determinação dos indivíduos, é definido aleatoriamente um período (coluna) de corte que dividirá ambos os cromossomos em duas partes. Em seguida, a primeira parte do indivíduo 'melhor' é unida com a segunda parte do indivíduo 'pior' gerando o primeiro cromossomo descendente, após esse passo, a primeira parte do indivíduo 'pior' é unida com a segunda parte do indivíduo 'melhor' dando origem ao segundo cromossomo descendente. A figura 16 demonstra o processo de cruzamento.

Figura 16 - Fluxograma do processo de cruzamento dos indivíduos.

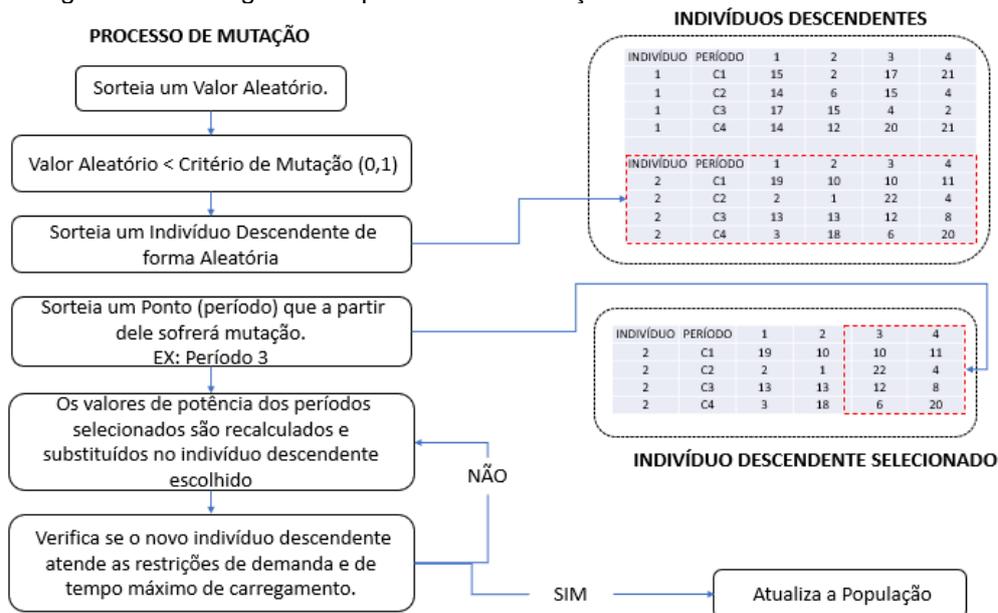


Fonte: autor (2020)

- **Mutação**

É o processo de alteração de forma aleatória de algumas características genéticas de um grupo de indivíduos previamente selecionados a partir de um critério de probabilidade (NERY, 2017). Neste trabalho é gerado um valor aleatório que ao ser menor que o critério de mutação, que possui valor igual a 0,1, garante o processo de mutação. Em um segundo momento, é selecionado de forma aleatória um dos descendentes gerados na fase de cruzamento e os períodos que deveram sofre o processo de mutação, ou seja, é realizado um novo cálculo de potência para a faixa de períodos selecionados. Após recalculados, são substituídos no indivíduo sorteado e ocorre o processo de validação onde é verificado se o novo cromossomo atende as restrições de demanda e tempo máximo de carregamento. Esse processo está descrito na figura 17.

Figura 17 - Fluxograma do processo de mutação de um indivíduo.



Fonte: autor (2020)

- Critério de Parada

Após realizar os passos anteriores a população é atualizada e o processo de simulação retorna para o passo de avaliação da função *fitness*, isso ocorre até que o critério de parada seja satisfeito. O critério de parada é satisfeito após 'n' interações sem que ocorra melhoria nos indivíduos, no caso deste problema o critério é satisfeito depois de 50 interações sem que o indivíduo apresente melhoria.

6 RESULTADOS

Após a análise do funcionamento do sistema de recarga de veículos elétricos e seus impactos na rede local implementado, foram realizadas simulações através do software *MATLAB*, a fim de verificar o desempenho do carregamento dos veículos em um sistema otimizado.

6.1 Cenários de Simulações

Para a realização das simulações foram considerados 6 cenários contendo a variação do número de veículos, estado de carga e autonomia disponível. Todos os cenários de simulação foram realizados considerando os seguintes dados da rede local e tempo de simulação:

- Demanda contratada pela empresa Venturus foi considerada 770 kW;
- Os horários de ponta foram considerados das 18 horas as 21 horas, os demais horários são referentes ao período fora de ponta;
- Foram utilizados somente dias úteis;
- O tempo de simulação foi considerado 10 horas, entre o período das 08h00 até às 18h00 do dia 02 de novembro de 2020;
- Mantem o mesmo tempo de espera para todos os veículos.
- Tempo máximo de carregamento foi considerado 6 horas.

Além dos dados constantes de rede e tempo de simulação. os cenários assumem os seguintes dados do Renault Zoe e da unidade de carregamento:

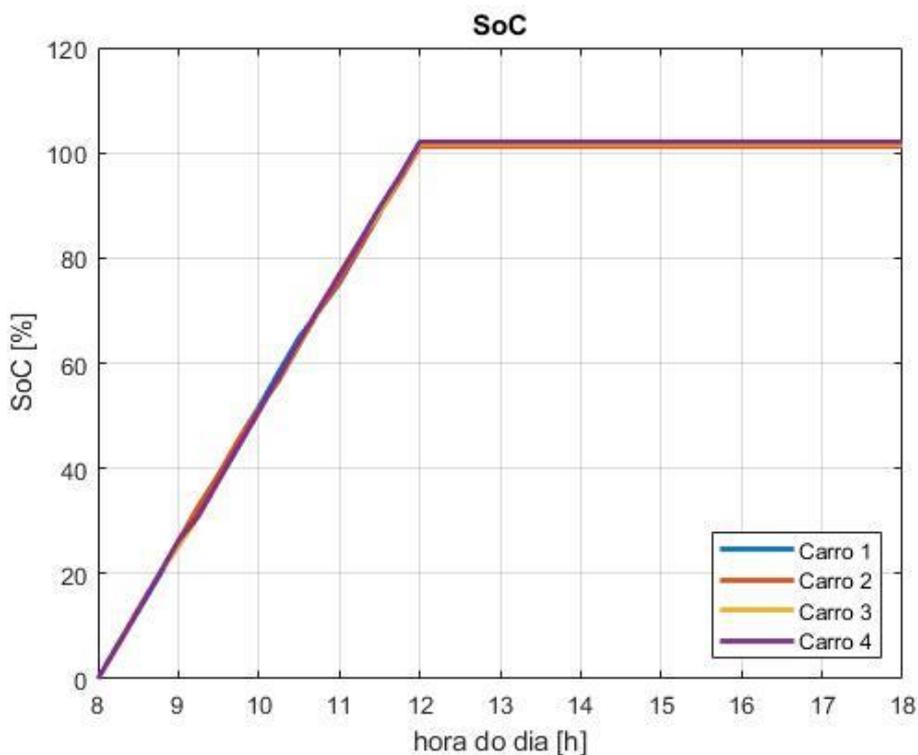
- O Renault Zoe possui uma capacidade de bateria de 41 kWh;
- O estado de carga desejado para todos os veículos é 100%;
- A autonomia do Renault Zoe é de 300 km;
- A potência da unidade de carregamento é de até 22 kW.

6.1.1 Cenário 1

Para o primeiro cenário testado, foi realizado a simulação do carregamento de 4 veículos elétricos em um tempo máximo de 6 horas, contendo um estado de carga

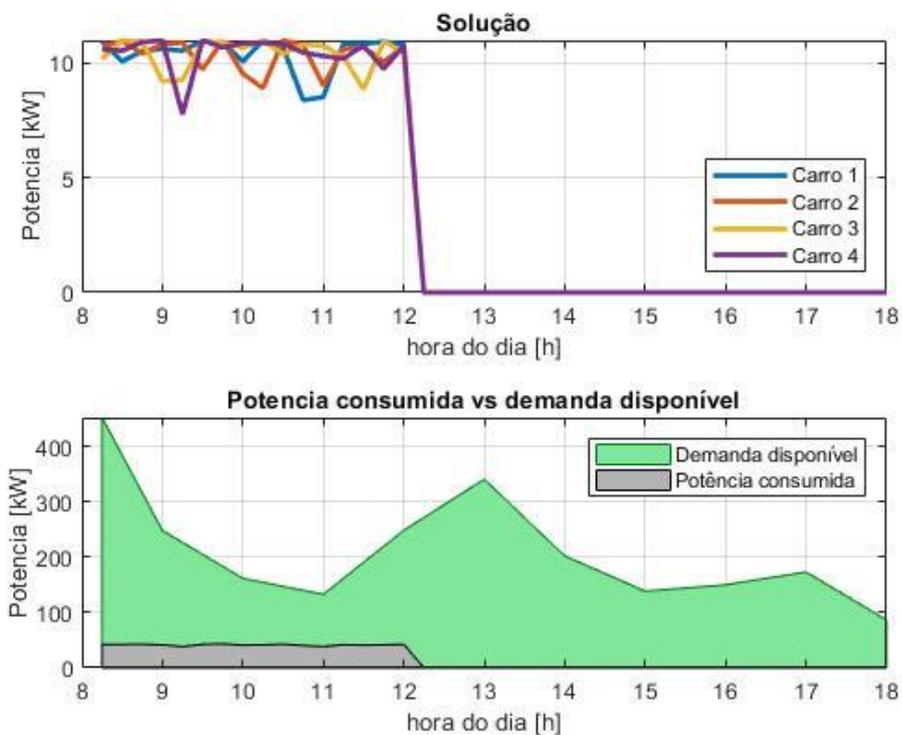
de 0%, ou seja, as baterias estão totalmente descarregadas o que faz com que o valor de autonomia disponível se torne de 0 Km para todos os veículos. Após a utilização do processo de otimização, observou-se que todos os veículos atingiram o estado de carga desejado de 100% em um tempo aproximado de 4 horas, com uma potência média de 42 kW, atendendo as restrições de demanda e tempo máximo de simulação. Dessa forma, constatou-se que o processo de otimização realizado pelo algoritmo gera uma solução adequada, que atende as especificações do problema em um tempo de execução de 7 segundos em um cenário crítico de carregamento. A Figura 18 apresenta a curva do estado da carga dos veículos, a Figura 19 apresenta dois gráficos sendo o superior a solução encontrada e o gráfico inferior apresenta a potência consumida.

Figura 18 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 1.



Fonte: *Print* da tela do software Matlab

Figura 19 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 1.



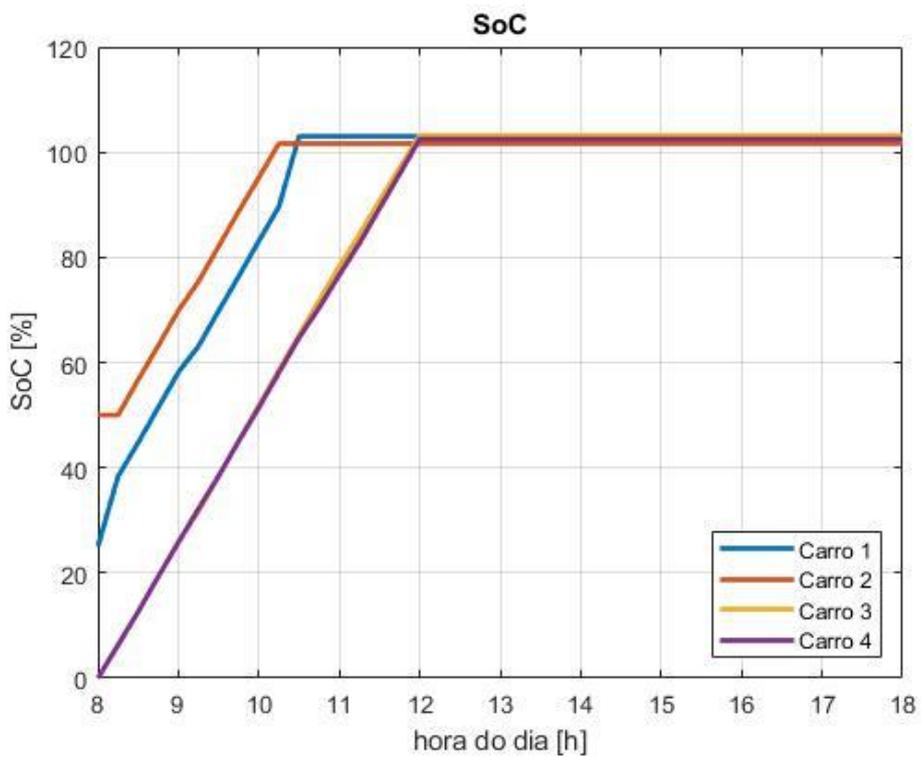
Fonte: *Print* da tela do software Matlab

6.1.2 Cenário 2

Para o segundo cenário testado, foi realizado a simulação do carregamento de 4 veículos elétricos em um tempo máximo de 6 horas, contendo os respectivos estados de carga de 25%, 50%, 0% e 0% que representa uma situação de grau intermediário de carga e o valor de autonomia disponível associado aos veículos são de 75 Km, 150 Km, 0 Km e 0 Km. Após a utilização do processo de otimização observou-se que todos os veículos atingiram o estado de carga desejado de 100%, sendo que os veículos com maior percentual de SoC carregaram de forma mais rápida, porém todos carregam totalmente em um tempo aproximado de 4 horas, com uma potência média de 34 kW, atendendo as restrições de demanda e tempo máximo de simulação. Dessa forma, constatou-se que o processo de otimização realizado pelo algoritmo gera uma solução adequada, que atende as especificações do problema em um tempo de execução de 8,9 segundos em um cenário intermediário de carregamento. A Figura 20 apresenta a curva do estado da carga dos veículos, a

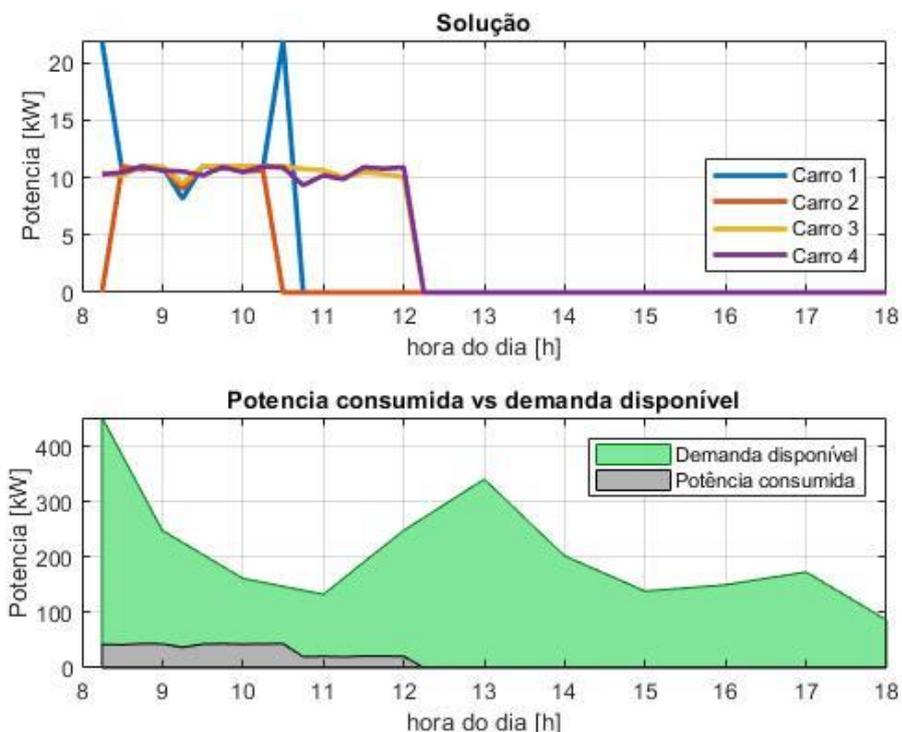
Figura 21 apresenta dois gráficos sendo o superior a solução encontrada e o gráfico inferior apresenta a potência consumida.

Figura 20 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 2.



Fonte: *Print* da tela do software Matlab

Figura 21 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 2.



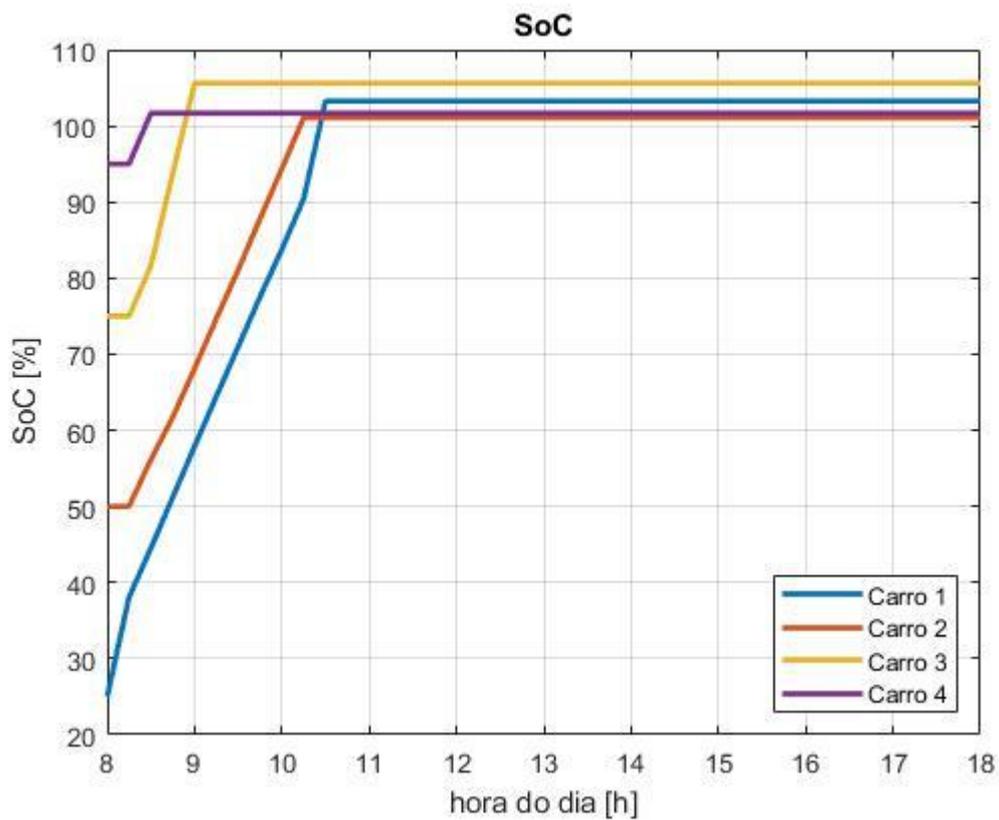
Fonte: *Print* da tela do software Matlab

6.1.3 Cenário 3

Para o terceiro cenário testado foi realizado a simulação do carregamento de 4 veículos elétricos em um tempo máximo de 6 horas, contendo os respectivos estados de carga de 25%, 50%, 75% e 95% que representa uma situação de grau aceitável de carga e o valor de autonomia disponível associado aos veículos são de 75 Km, 150 Km, 225 Km e 285 Km. Após a utilização do processo de otimização observou-se que todos os veículos atingiram o estado de carga desejado de 100%, sendo que os veículos com maior percentual de SoC carregaram de forma mais rápida, porém todos carregam totalmente em um tempo aproximado de 2 horas e 30 minutos, com uma potência média de 27,3 kW, atendendo as restrições de demanda e tempo máximo de simulação. Dessa forma, constatou-se que o processo de otimização realizado pelo algoritmo gera uma solução adequada, que atende as especificações do problema em um tempo de execução de 5,4 segundos em um cenário aceitável de carregamento. A Figura 22 apresenta a curva do estado da carga dos veículos, a Figura 23 apresenta

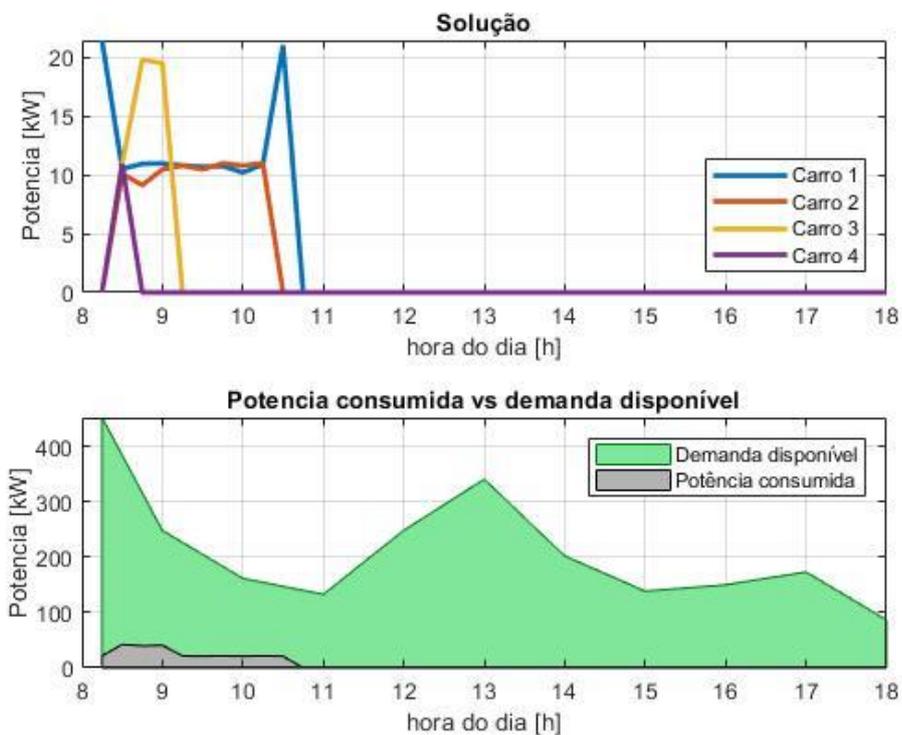
dois gráficos sendo o superior a solução encontrada e o gráfico inferior apresenta a potência consumida.

Figura 22 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 3.



Fonte: *Print* da tela do software Matlab

Figura 23 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 3.

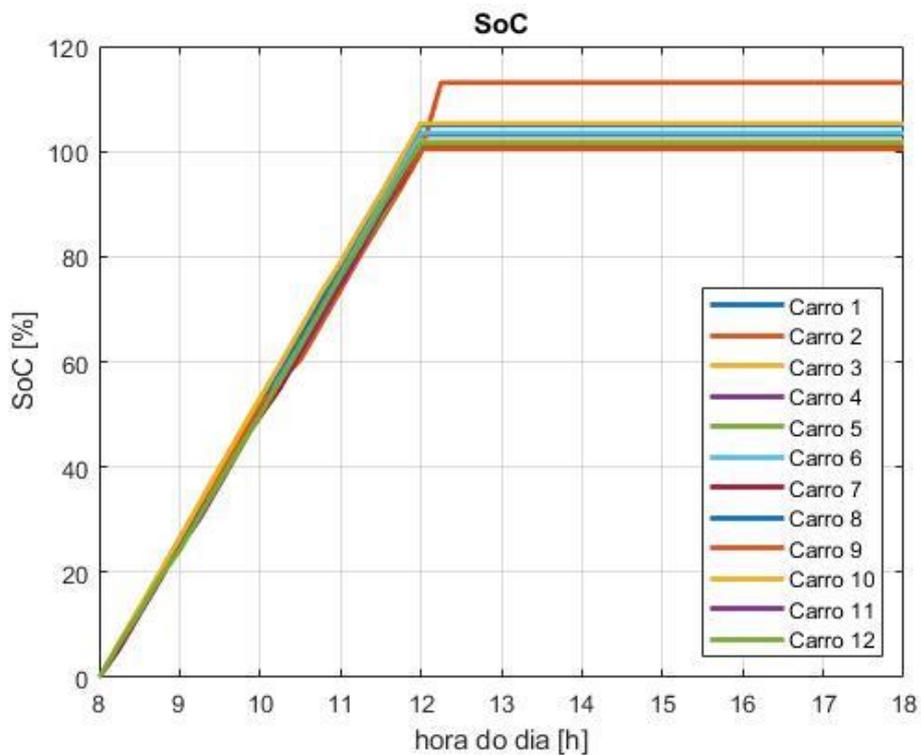


Fonte: *Print* da tela do software Matlab

6.1.4 Cenário 4

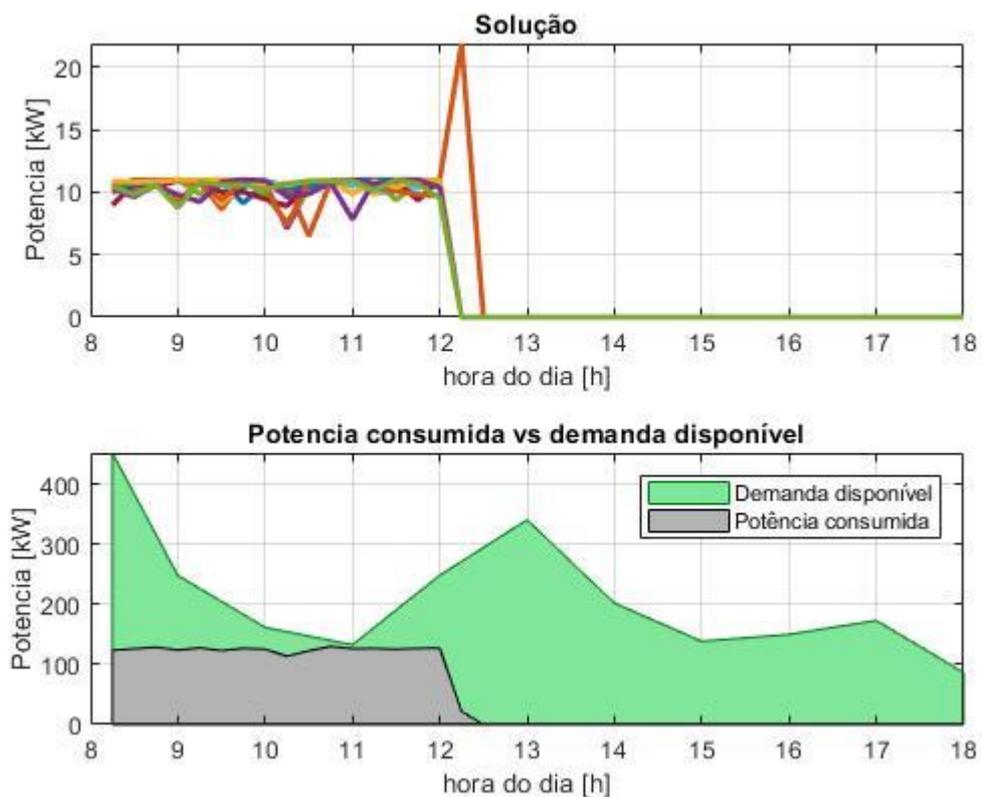
Para o quarto cenário testado foi realizado a simulação do carregamento de 12 veículos elétricos em um tempo máximo de 6 horas, contendo um estado de carga de 0% que representa um cenário crítico com maior demanda de potência necessária e o valor de autonomia disponível associado aos veículos é de 0 Km. Após a utilização do processo de otimização observou-se que todos os veículos atingiram o estado de carga desejado de 100% em um tempo aproximado de 4 horas e 30 minutos, com uma potência média de 119,4 kW, atendendo as restrições de demanda e tempo máximo de simulação. Dessa forma, constatou-se que o processo de otimização realizado pelo algoritmo gera uma solução adequada, que atende as especificações do problema em um tempo de execução de 5,9 segundos em um cenário crítico de carregamento utilizando uma frota de veículos maior. A Figura 24 apresenta a curva do estado da carga dos veículos, a Figura 25 apresenta dois gráficos sendo o superior a solução encontrada e o gráfico inferior apresenta a potência consumida.

Figura 24 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 4.



Fonte: *Print* da tela do software Matlab

Figura 25 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 4.

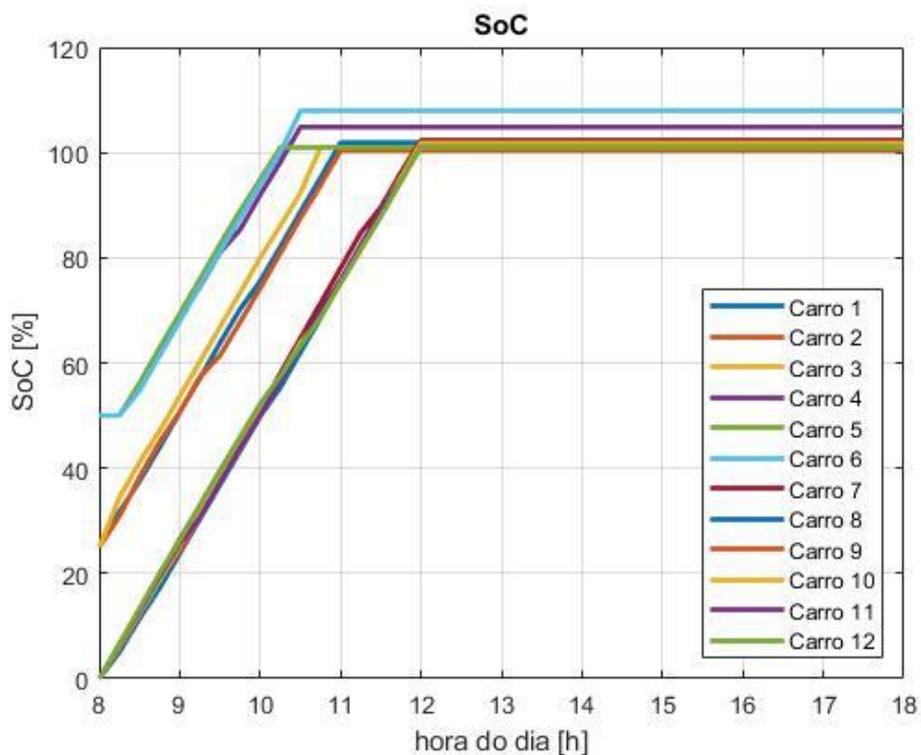


Fonte: *Print* da tela do software Matlab

6.1.5 Cenário 5

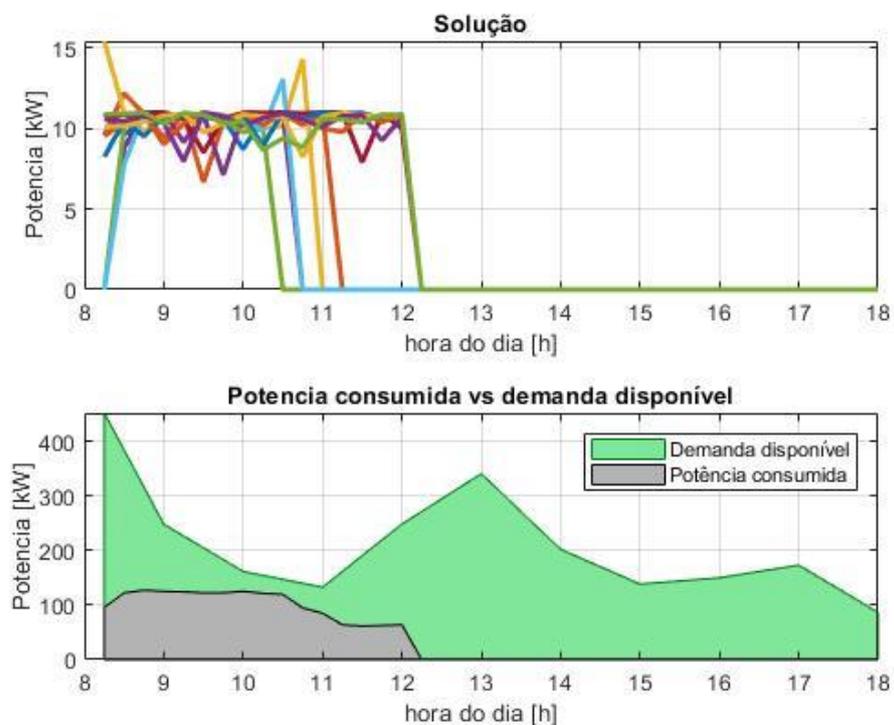
Para o quinto cenário testado foi realizado a simulação do carregamento de 12 veículos elétricos em um tempo máximo de 6 horas, contendo os respectivos estados de carga de 25%, 25%, 25%, 50%, 50%, 50%, 0%, 0%, 0%, 0%, 0% e 0%, que representa uma situação de grau intermediário de carga com maior demanda de potência necessária e o valor de autonomia disponível associado aos veículos são de 75 Km, 75 Km, 75 Km, 150 Km, 150 Km, 150 Km, 0 Km, 0 Km, 0 Km, 0 Km, 0 Km e 0 Km. Após a utilização do processo de otimização observou-se que todos os veículos atingiram o estado de carga desejado de 100%, sendo que os veículos com maior percentual de SoC carregaram de forma mais rápida, porém todos carregam totalmente em um tempo aproximado de 4 horas, com uma potência média de 102,6 kW, atendendo as restrições de demanda e tempo máximo de simulação. Dessa forma, constatou-se que o processo de otimização realizado pelo algoritmo gera uma solução adequada, que atende as especificações do problema em um tempo de execução de 9,8 segundos em um cenário intermediário de carregamento utilizando uma frota de veículos maior. A Figura 26 apresenta a curva do estado da carga dos veículos, a Figura 27 apresenta dois gráficos sendo o superior a solução encontrada e o gráfico inferior apresenta a potência consumida.

Figura 26 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 5.



Fonte: *Print* da tela do software Matlab

Figura 27 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 5.

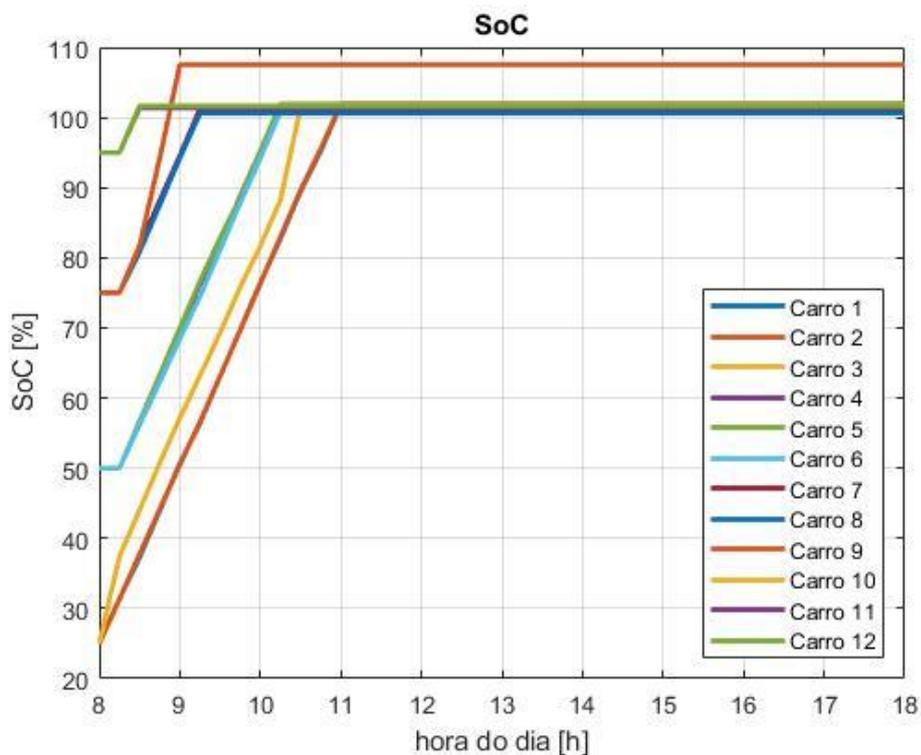


Fonte: *Print* da tela do software Matlab

6.1.6 Cenário 6

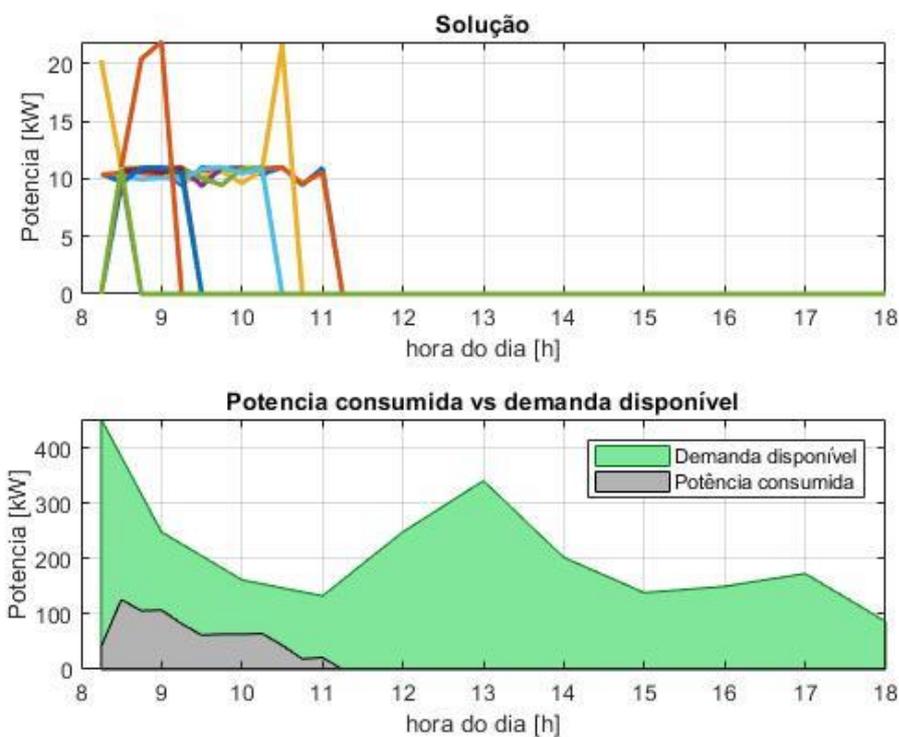
Para o sexto cenário testado foi realizado a simulação do carregamento de 12 veículos elétricos em um tempo máximo de 6 horas, contendo os respectivos estados de carga de 25%, 25%, 25%, 50%, 50%, 50%, 75%, 75%, 75%, 95%, 95% e 95%, que representa uma situação de grau aceitável de carga com maior demanda de potência necessária e o valor de autonomia disponível associado aos veículos são de 75 Km, 75 Km, 75 Km, 150 Km, 150 Km, 150 Km, 225 Km, 225 Km, 225 Km, 285 Km, 285 Km e 285 Km. Após a utilização do processo de otimização observou-se que todos os veículos atingiram o estado de carga desejado de 100%, sendo que os veículos com maior percentual de SoC carregaram de forma mais rápida, porém todos carregam totalmente em um tempo aproximado de 3 horas, com uma potência média de 66,8 kW, atendendo as restrições de demanda e tempo máximo de simulação. Dessa forma, constatou-se que o processo de otimização realizado pelo algoritmo gera uma solução adequada, que atende as especificações do problema em um tempo de execução de 9,8 segundos em um cenário aceitável de carregamento utilizando uma frota de veículos maior. A Figura 28 apresenta a curva do estado da carga dos veículos, a Figura 29 apresenta dois gráficos sendo o superior a solução encontrada e o gráfico inferior apresenta a potência consumida.

Figura 28 - Estado de carga dos veículos no período de carregamento para o caso 6.



Fonte: *Print* da tela do software Matlab

Figura 29 - Gráfico da solução e da potência consumida no caso 6.



Fonte: *Print* da tela do software Matlab

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foram estudados os sistemas de carregamento de veículos elétricos e os seus efeitos ao ser implementado na rede de distribuição de energia elétrica. Os impactos causados na rede pelo carregamento dos veículos elétricos ainda é um dos principais fatores limitantes para a instalação dos postos de recarga públicos e residenciais, dessa forma buscou-se algumas estratégias para otimizar o carregamento.

Com base no problema descrito, foi realizada uma análise do sistema a fim de verificar o funcionamento e as vantagens da implementação de um algoritmo de otimização para minimizar os impactos na rede local da empresa Venturus. Observou-se vantagens significativas no uso do algoritmo, entre elas o carregamento completo da frota estudada de forma eficiente, respeitando as restrições de demanda e tempo de simulação.

Foram realizadas simulações através do software Matlab com o intuito de verificar o desempenho do algoritmo de otimização frente a diversos casos. Foi possível verificar que os veículos carregaram de forma completa em um tempo inferior ao tempo máximo de carregamento, atendendo as restrições de demanda local para todos os casos estudados.

Constatou-se que o processo de otimização do carregamento de veículos utilizando algoritmo genético é eficiente e atendeu as expectativas em diversos aspectos como tempo de recarga, potência utilizada e desempenho de execução.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PROGRAMA ESTADUAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - PROCLIMA. **Gases do Efeito Estufa**. 2020. Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa>>. Acesso em: 02 abr. 2020

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – CEBDS. **O Acordo de Paris e o desenvolvimento sustentável**. 2019. Disponível em <<https://cebds.org/o-acordo-de-paris-e-o-desenvolvimento-sustentavel/#.XoX2dmBv>>. Acesso em: 02 abr. 2020.

RIBEIRO, S. K., COSTA, C. V., David, E.G., Real, M. V., D'Agosto, M. A. **Transporte mudanças climáticas**. Rio de Janeiro, MAUAD Editora Ltda. 2000. Acesso: 03 abr. 2020

JORNAL DO CARRO. **Reino Unido vai banir carros a combustão e híbridos até 2035**. 2020. Disponível em: <<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/reino-unido-banir-combustao-2035>> Acesso em: 02 abr. 2020.

BANDEIRA, Renan. **Projeto proíbe carro a combustão no Brasil. Fabricantes dizem ser inviável**. 2020. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/projeto-proibe-carro-a-combustao-no-brasil-fabricantes-dizem-ser-inviavel/>> Acesso em: 02 abr. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Plano de Controle de Poluição Veicular 2017-2019**. 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2018/01/PCPV-2017-2019.pdf>> Acesso em: 02 abr. 2020.

MOURA, Marcelo. **Carro elétrico no Brasil: do zero aos bilhões em 10 anos**. 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/09/carro-eletrico-no-brasil-do-zero-aos-bilhoes-em-10-anos.html>> Acesso em: 02 abr. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Global EV Outlook 2019**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>> Acesso em: 02 abr. 2020.

CENTRO DE ESTUDOS DE ENERGIA DA FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – FGV ENERGIA. **Carros Elétricos**. 2017. Disponível em: <https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/CARROS-ELERICOS-2017.pdf>> Acesso em: 03 abr. 2020.

GONÇALVES, Frederico. **Veículos elétricos e seus impactos no sistema elétrico brasileiro**. 2018. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/ve%C3%ADculos-el%C3%A9tricos-e-seus-impactos-sistema-el%C3%A9trico-gon%C3%A7alves/>> Acesso em: 03 abr. 2020.

GONÇALVES, Frederico. **Recarga Inteligente de Veículos Elétricos**. 2019. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/recarga-inteligente-de->

ve%C3%ADculos-el%C3%A9tricos-frederico-gon%C3%A7alves/> Acesso em: 03 abr. 2020.

ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS – EVGO. **Types of Electric Vehicles.** 2020. Disponível em: <<https://www.evgo.com/why-evs/types-of-electric-vehicles/>> Acesso em: 31 mar. 2020.

SOARES, F.J., ALMEIDA, P.M., LOPES, J.A. **Quasi-real-time management of Electric Vehicles charging.** Electric Power Systems Research - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência da Universidade do Porto, 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo.** 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2019/02/Relat%C3%B3rio-Emiss%C3%B5es-Veiculares-2017.pdf>> Acesso em: 03 abr. 2020.

CHENG, Shan. GAO, Peng-Fei. **Optimal Allocation of Charging Stations for Electric Vehicles in the Distribution System.** 3rd International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG), 2018.

DIMITROPOULOS, A., RIETVELD, P., OMMEREN, J. N., **Consumer valuation of changes in driving range: A meta-analysis,** Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 55, Pages 27-45, 2013.

FRANKE, T., KREMS, J. F., **What drives range preferences in electric vehicle users?,** Transport Policy, Volume 30, Pages 56-62, 2013.

PEARRE, N. S., KEMPTON, W., GUENSLER, R. L., ELANGO, V. V., **Electric vehicles: How much range is required for a day's driving?,** Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 19, Issue 6, Pages 1171-1184, 2011.

VENTURUS – INOVAÇÃO E TECNOLOGIA. **Mobilidade elétrica e os sistemas de recarga.** Campinas, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://venturus.org.br/mobilidade-eletrica-e-os-sistemas-de-recarga/>. Acesso em: 24 abr. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 15118-1:2019(en) Road vehicles — Vehicle to grid communication interface — Part 1: General information and use-case definition.** 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15118:-1:ed-2:v1:en>. Acesso em: 08 maio 2020.

SCHNEIDER ELECTRIC. **EVlink - Catalog 2019 - Electric vehicle charging solutions.** Rueil Malmaison, França. 2019. Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/product-range-download/60850-evlink-parking/>. Acesso em: 08 maio 2020.

EUROPEAN FEDERATION FOR TRANSPORT AND ENVIRONMENT AISBL – TRANSPORT & ENVIRONMENT. **Recharge. EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s.** Bruxelas, Bélgica 2020.

Disponível em:

<https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/01%202020%20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf>. Acesso em: 08 maio 2020.

PROGRAMA DE MOBILIDADE ELÉTRICA DA CPFL ENERGIA - EMOTIVE. **Veículos elétricos trazem economia de até 84% nos gastos com combustível.**

Campinas, São Paulo. 2016. Disponível em:

<https://www.cpfl.com.br/releases/Paginas/veiculos-eletricos-trazem-economia-de-ate-nos-gastos-com-combustivel.aspx>. Acesso em: 08 maio 2020.

Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações - CPQD. **Elétrico puro, híbrido ou plug-in?** Campinas, São Paulo, 2015. Disponível em:

<https://www.cpqd.com.br/insight/eletrico-puro-hibrido-ou-plug-in/>. Acesso em: 08 maio 2020.

WEG. **WEMOB: Estações de Recarga para Veículos Elétricos.** Jaraguá do Sul, Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/>.

Acesso em: 08 maio 2020.

ABB Group. **Apresentação Institucional: EVLunic AC Wallbox.** São Paulo, 2019.

Disponível em: <https://new.abb.com/pt>. Acesso em: 08 maio 2020.

ARIAS, Maria Nataly Bañol. **APLICAÇÃO DE TÉCNICAS METAHEURÍSTICAS PARA RESOLVER O PROBLEMA DE COORDENAÇÃO DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO.** 2015. Dissertação de Mestrado- Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia - Câmpus Ilha Solteira, UNESP.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Missão, objetivos e atividades.** 2020. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/centro-regional-para-assistencia-tecnica-e-transferencia-de-tecnologia/missao-objetivos-e-atividades/>. Acesso em: 08 maio 2020.

DARWIN, Charles. **The origin of species by means of natural selection.** Chicago: Encyclopedia Britannica, 1953.

TANOMARU, Julio. **Motivação, fundamentos e aplicações de algoritmos genéticos** II Congresso Brasileiro de Redes Neurais, Curitiba, 1995.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems.** Cambridge: MIT Press, 1993.

COPPE-UFRJ, DE CASTRO, Nivalde., FALCÃO, Djalma., COLOMBARI, Camila. **Veículos Elétricos e possíveis impactos nas redes de distribuição**. 2019. Disponível em: < http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/56_castro200.pdf>. Acesso em: 30 de outubro de 2020.

DRÉO, J. **Metaheuristics for Hard Optimization: Methods and Case Studies**. [S.l.]: Springer, 2006.

RESENDE, Mauricio. **Introdução aos algoritmos genéticos de chaves aleatórias viciadas**. 2013. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Natal, Rio Grande do Norte. Acesso em: 30 outubro 2020.

AUTOESPORTE. **Os 50 carros mais vendidos no Brasil no primeiro semestre de 2019**. 2019. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2019/07/os-50-carros-mais-vendidos-no-brasil-no-primeiro-semester-de-2019.ghtml>. Acesso em: 31 outubro 2020.

EXAME. **Carros mais vendidos 2020: 5 modelos que se destacam na pandemia**. 2020. Disponível em: <https://exame.com/negocios/carros-mais-vendidos-2020-5-modelos-que-se-destacam-na-pandemia/>. Acesso em: 31 outubro 2020.

AUTOESPORTE. **Renault Zoe: elétrico tem acabamento de Clio e preço de Jeep Compass**. 2020. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/testes/noticia/2020/01/renault-zoe-eletrico-tem-acabamento-de-clio-e-preco-de-jeep-compass.ghtml>. Acesso em 31 de outubro 2020.

CURVA DE CARGA. **Curvas de carga em ponto de consumo comercial**. 2016. Disponível em: <http://curvadecarga.blogspot.com/>. Acesso em: 01 novembro 2020.

TOSO, Rodrigo. RESENDE, Mauricio. brkgaAPI: A C++ application programming interface **Curvas de carga em ponto de consumo comercial**. 2016. Disponível em: <http://curvadecarga.blogspot.com/>. Acesso em: 01 novembro 2020.

NERY, W. L. Samuel. **Análise de Operadores de Cruzamento Genético Aplicado ao Problema do Caixeiro Viajante**. Universidade Federal de Goiás, 2017. Disponível em: < <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/498/o/SamuelWanbergLourenco-Nery2016.pdf>>. Acesso em: 2 de novembro de 2020.

MATHWORKS. **Software Matlab**. Mathworks, 2020. Disponível em: < <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>. Acesso em: 4 de novembro de 2020.

PYTHON. **Programming Language**. Python Software Foundation, 2001. Disponível em: <<https://www.python.org/>>. Acesso em: 4 de novembro de 2020.

SILVA, L. R. Lucas. **Uma Metaheurística BRKGA com Infecção Viral para o Problema do Caixeiro Viajante**. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UFRN), 2019. Disponível em: <<https://di.uern.br/tccs2019/html/ltr/PDF/013006487.pdf>>. Acesso em: 4 de novembro de 2020.

ABB. **Carregador Rápido de Alta Potência**. Zurique, Suíça, 2020. Disponível em: <<https://new.abb.com/ev-charging/pt-pt/products/car-charging/carregamento-r%C3%A1pido-de-elevada-pot%C3%Aancia>>. Acesso em: 4 de novembro de 2020.

PAUL STENQUIST (Estados Unidos). The New York Times. **Electric Chargers for the Home Garage**. 2019. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2019/07/11/business/electric-vehicle-home-chargers.html>. Acesso em: 16 nov. 2020.

OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY (Estados Unidos). Office Of Energy Efficiency & Renewable Energy (org.). **Charging at Home**. [20--]. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/electricvehicles/charging-home>. Acesso em: 16 nov. 2020.