



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MARIA BEATRIZ DE ALMEIDA CASTRO

**ANÁLISE DE PERDAS TÉCNICAS E CARREGAMENTO DOS TRANSFORMADORES
DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA UFMT APÓS A INSERÇÃO DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS**

CUIABÁ – MT
DEZEMBRO, 2022

MARIA BEATRIZ DE ALMEIDA CASTRO

**ANÁLISE DE PERDAS TÉCNICAS E CARREGAMENTO DOS TRANSFORMADORES
DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA UFMT APÓS A INSERÇÃO DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dra. Camila dos Anjos Fantin

CUIABÁ – MT
DEZEMBRO, 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C355a Castro, Maria Beatriz de Almeida.

Análise de perdas técnicas e carregamento dos transformadores do sistema de distribuição da UFMT após a inserção de veículo elétrico [recurso eletrônico] / Maria Beatriz de Almeida Castro. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 20 f., il. color., pdf). -- 2022.

Orientadora: Camila dos Anjos Fantin.

TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2022.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. veículos elétricos; perdas técnicas; OpenDSS. I. Fantin, Camila dos Anjos, *orientador*.
- II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

DESPACHO

Processo nº 23108.103107/2022-20

Interessado: MARIA BEATRIZ DE ALMEIDA CASTRO

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA MONOGRAFIA:

ANÁLISE DE PERDAS TÉCNICAS E CARREGAMENTO DOS TRANSFORMADORES DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA UFMT APÓS A INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

ALUNO: MARIA BEATRIZ DE ALMEIDA CASTRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 19 de dezembro de 2022.

Nota: 9,72

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Camila dos Anjos Fantin

Orientadora

Profa. Msc. Joelma Azevedo

Examinadora

Prof. Dr. Jorge Luiz Brito de Faria



Documento assinado eletronicamente por **CAMILA DOS ANJOS FANTIN, Coordenador(a) de Ensino de Graduação em Engenharia Elétrica - FAET/UFMT**, em 21/12/2022, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOELMA SEBASTIANA DE AZEVEDO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 21/12/2022, às 12:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JORGE LUIZ BRITO DE FARIA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 21/12/2022, às 15:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5364358** e o código CRC **8221870A**.

Pelo carinho, dedicação, cuidado e apoio incondicional que meus pais me deram durante toda a minha existência, dedico este trabalho a eles. Com muita gratidão.

RESUMO

CASTRO, M.B. de A. **Análise de perdas técnicas e carregamento dos transformadores do sistema de distribuição da UFMT após a inserção de veículos elétricos**. 2022. 21f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2022.

Com o aumento do Efeito Estufa nos últimos anos, a necessidade de redução dos gases causadores deste fenômeno, como o dióxido de carbono, tornou-se fundamental. Uma das alternativas encontradas para abrandar a emissão de Gases de Efeito Estufa, são os Veículos Elétricos. No entanto, essa tecnologia, que está em ascensão, em conexão com a rede elétrica, gera impactos na mesma. Desta forma, torna-se essencial o estudo desse tema ao que tange o sistema de distribuição para prevenção e mitigação de eventualidades na rede elétrica. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo principal analisar as perdas técnicas e carregamento dos transformadores no sistema de distribuição da Universidade Federal de Mato Grosso após a inserção de pontos de carregamento de veículos elétricos no campus, por meio de simulações com o *software* OpenDSS. Este projeto analisa seis cenários, em que cada cenário considera um percentual de penetração de automóveis elétricos no sistema de distribuição da universidade considerando um período de um dia de análise, logo, em 24 horas. Desta forma, investigando os impactos na Qualidade de Energia Elétrica segundo o Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

Palavras-chave: veículos elétricos; perdas técnicas; OpenDSS.

ABSTRACT

With the increase in the Greenhouse Effect in recent years, the need to reduce the gases that cause this phenomenon, such as carbon dioxide, has become fundamental. One of the alternatives found to slow down the emission of Greenhouse Gases are Electric Vehicles. However, this technology, which is on the rise, in connection with the power grid, generates impacts on it. In this way, it becomes essential to study this topic with regard to the distribution system for the prevention and mitigation of casualties in the electrical network. In this context, the main objective of this work is to analyze the technical losses and charging of transformers in the distribution system of the Federal University of Mato Grosso after the insertion of charging points for electric vehicles on the campus, through simulations with OpenDSS software. This project analyzes six scenarios, in which each scenario considers a percentage of penetration of electric cars in the university's distribution system considering a period of one day of analysis, therefore, in 24 hours. In this way, investigating the impacts on the Electricity Quality according to the Electricity Distribution Procedures in the National Electricity System.

Keywords: electric vehicles; electrical loss; OpenDSS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gráfico das perdas técnicas no SD para todos os cenários de simulação	18
Figura 2 – Curvas de carga do SD	18

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Quantidade de pontos de conexão de VE	16
Tabela II – Características do Nissan Leaf	16
Tabela III – Porcentagem de inserção dos veículos elétricos	17
Tabela IV – Horário de conexão dos veículos elétricos	17
Tabela V – Quantidade de VE por porcentagem de bateria remanescente	18
Tabela VI – Porcentagem da demanda máx. nos transformadores em relação a potência nominal	19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
IEA	Agência Internacional de Energia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática
IPi	Imposto sobre o Produto Industrializado
OpenDSS	<i>Open Distribution System Analysis</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid EV</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Número de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.
QEE	Qualidade de Energia Elétrica.
SD	Sistema de Distribuição
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso.
VE	Veículos Elétricos

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de Carbono
-----------------	--------------------

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	14
II. MODELAGEM	15
<i>A. Sistema de distribuição da UFMT</i>	15
<i>B. Alocação e quantidade de pontos de recarga</i>	16
<i>C. Modelagem dos veículos elétricos</i>	16
<i>D. Estratégia de recarga</i>	17
III. RESULTADOS	18
<i>A. Perdas técnicas</i>	18
<i>B. Carregamento dos transformadores</i>	18
IV. CONCLUSÕES.....	19
ANEXO A	21

ANÁLISE DAS PERDAS ELÉTRICAS E CARREGAMENTO DOS TRANSFORMADORES DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA UFMT APÓS A INSERÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.

Maria Beatriz de Almeida Castro/Camila dos Anjos Fantin

Universidade Federal de Mato Grosso/ Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia/ Departamento de Engenharia Elétrica, Cuiabá - MT, E-mail – mariabiia.castro@gmail.com

Resumo - Com o aumento do Efeito Estufa nos últimos anos, a necessidade de redução dos gases causadores deste fenômeno, como o dióxido de carbono, tornou-se fundamental. Uma das alternativas encontradas para abrandar a emissão de Gases de Efeito Estufa, são os Veículos Elétricos. No entanto, essa tecnologia, que está em ascensão, em conexão com a rede elétrica, gera impactos na mesma. Desta forma, torna-se essencial o estudo desse tema ao que tange o sistema de distribuição para prevenção e solução de consequências na rede elétrica. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo principal analisar as perdas técnicas e carregamento dos transformadores no sistema de distribuição da Universidade Federal de Mato Grosso após a inserção de pontos de carregamento de veículos elétricos no campus, por meio de simulações com o software OpenDSS. Este projeto analisa seis cenários, em que cada cenário considera um percentual de penetração de automóveis elétricos no sistema de distribuição da universidade considerando um período de um dia de análise, logo, em 24 horas. Desta forma, investigando os impactos na Qualidade de Energia Elétrica segundo o Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

Palavras-Chave - Veículos elétricos. Perdas elétricas. OpenDSS.

ANALYSIS OF ELECTRICAL LOSSES AND LOADING OF TRANSFORMERS IN THE UFMT DISTRIBUTION SYSTEM AFTER THE INSERTION OF ELECTRIC VEHICLES.

Abstract - With the increase in the Greenhouse Effect in recent years, the need to reduce the gases that cause this phenomenon, such as carbon dioxide, has become fundamental. One of the alternatives found to slow down the emission of Greenhouse Gases are Electric Vehicles. However, this technology, which is on the rise, in connection with the power grid, generates impacts on it. In this way, it becomes essential to study this topic with regard to the distribution system for the prevention and solution of consequences in the electrical network. In this context, the main objective of this work is to analyze the technical losses and charging of transformers in the distribution system of the Federal University of Mato Grosso after the insertion of

charging points for electric vehicles on the campus, through simulations with OpenDSS software. This project analyzes six scenarios, in which each scenario considers a percentage of penetration of electric cars in the university's distribution system considering a period of one day of analysis, therefore, in 24 hours. In this way, investigating the impacts on the Electricity Quality according to the Electricity Distribution Procedures in the National Electricity System.

Keywords - Electric vehicles. Electrical loss. OpenDSS.

I. INTRODUÇÃO

A preocupação com o Aquecimento Global cresceu rapidamente nos últimos tempos, em virtude do aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) que contribuem para a elevação da temperatura terrestre. A intensificação da emissão dos GEE se deu, de acordo com o relatório de 2014 do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) [1], em decorrência do aumento das atividades humanas, como a expansão industrial. O exponencial desenvolvimento da indústria, principalmente a automobilística, impactou diretamente na mobilidade urbana, gerando uma ampliação na frota mundial de automóveis e consequentemente no lançamento de Gases de Efeito Estufa. Visto que, os veículos movidos a combustíveis fósseis são um dos maiores colaboradores com a emissão de dióxido de carbono (CO₂), que é um dos gases responsáveis pela retenção de calor [2].

Assim, a busca por maneiras de reduzir os gases causadores do Efeito Estufa se tornou fundamental. Tal processo é chamado de descarbonização. Uma alternativa que vem sendo expandida no meio automotivo, não só buscando a redução de irradiação de CO₂, mas também independência dos veículos em relação aos combustíveis fósseis e seus preços, são os Veículos Elétricos (VE). Segundo um estudo realizado pela Agência Internacional de Energia (IEA) [3], em 2021 a frota de VE mundial correspondeu a um aumento de 140% em relação à frota de 2020, totalizando 1,1 milhões de unidades. Este estudo, também aponta que a quantidade correspondente de automóveis movidos a energia elétrica pode chegar a 230 milhões até 2030.

Já no Brasil, apesar da taxa de crescimento do número de VE ser menor que nas grandes potências, ainda assim seu desenvolvimento se demonstra muito promissor. No entanto, a quantidade de automóveis movidos a energia elétrica no país ainda representa um número muito baixo do total de veículos no Brasil. Em conformidade com dados obtidos pelo

DENATRAN em 2021, cerca de 0,05% dos veículos nacionais correspondiam a VE [4]. Já no segundo semestre de 2022, o Brasil superou a marca de 100 mil veículos eletrificados em circulação, de acordo com projeções da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) [5].

A vigente tecnologia dos veículos movidos a bateria e híbridos a etanol tende a crescer de forma expressiva no Brasil por consequência das leis e projetos governamentais que elaboram recursos para resolução de questões que se tornam entraves para a expansão desse setor. Dentre esses mecanismos, destacam-se os que se referem ao incentivo da compra deste tipo de automóvel, levando em consideração o alto custo e a falta de estrutura para o carregamento dos veículos elétricos. A título de exemplo, vale ressaltar como de maior importância, o Projeto de Lei do Senado número 304 que proíbe a comercialização de veículos movidos a combustão a partir de 1º de janeiro de 2030 e veta a circulação dos mesmos no país com início em 2040 [6].

Dentre as políticas públicas, com o propósito de fomentar o mercado automobilístico de VE no Brasil, destaca-se o Projeto de Lei do Senado nº 174 de 2014 que absolve os veículos elétricos a bateria ou híbridos a etanol do Imposto sobre o Produto Industrializado (IPI) por um período de 10 anos, mas também o imposto para peças e acessórios importados [7]. Outra criação governamental, de suma importância, é a Resolução Camex nº 97/2015 que reduz para zero o percentual de tributo de importação para automóveis elétricos. Desta forma, resultando na redução do custo para fabricação e consequentemente o preço desses veículos [8].

Apesar das vantagens dos VE para a esfera da mobilidade urbana sustentável e econômica, a propagação dos mesmos na sociedade resulta em impactos que devem ser estudados devido sua conexão com a rede elétrica, como por exemplo, a respeito dos Sistemas Elétricos de distribuição, transmissão e geração. No entanto, os obstáculos da penetração se destacam principalmente no que diz respeito às concessionárias de distribuição. Designadamente, na perspectiva do Sistema de Distribuição (SDs), a introdução desordenada e imprevista de VE para o carregamento de suas baterias, produz consequências técnicas que impactam na QEE e a confiabilidade do sistema [2]. Dentre os impactos mais relevantes, a alteração do perfil e violações de tensão, aumento no carregamento dos condutores e transformadores, flutuações de tensão, aumento do nível de perdas, desbalanceamento de correntes e tensões, o que dificulta a manutenção dos parâmetros de Qualidade da Energia Elétrica pelas concessionárias [9].

Sendo assim, tendo em vista o potencial crescimento dos VE no Brasil, os impactos causados pela inserção dos mesmos à rede de distribuição elétrica e o grande fluxo de automóveis no campus da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), faz-se necessário um estudo dos efeitos causados pela penetração massiva de veículos elétricos no SD da UFMT. Este trabalho analisará de forma mais específica as perdas técnicas e o carregamento dos transformadores no Sistema de Distribuição do campus. Seis cenários foram simulados: no cenário 1 não houve penetração de veículos à rede elétrica e nos cenários 2, 3, 4, 5 e 6 foram feitas a introdução de 5%, 25%, 50%, 75% e 100% de automóveis eletrificados respectivamente no SD. A análise e determinação das perdas

elétricas levará em consideração os padrões abordados pelo Módulo 7 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist [10].

Ao fim do estudo, os resultados obtidos em cada cenário, foram comparados para a aquisição do percentual de diferença das perdas elétricas em cada situação considerando o circuito da rede de distribuição completo. Além disso, as porcentagens das demandas máximas em cada transformador em comparação com as potências nominais foram apresentadas para a verificação de ocorrência de sobrecarga. Por fim, determinou-se os impactos na Qualidade de Energia Elétrica no campus da UFMT.

II. MODELAGEM

Foi utilizada a ferramenta computacional OpenDSS para a modelagem e simulação do Sistema de Distribuição. Este software realiza análises de parâmetros elétricos com o objetivo de resolver questões de fluxo de potência em SD's. Analisa-se as grandezas elétricas que estão relacionadas diretamente com a Qualidade da Energia Elétrica do sistema, penetração de fontes de energia como a Geração Distribuída (GD), conexão de VE com a rede, entre outros. O *software* foi desenvolvido de modo que todas as funções do programa fossem empregadas através de códigos, possibilitando a modelagem do sistema por linhas de comando. Além dos códigos, o programa possui uma interface gráfica com várias funções disponíveis, como visualização de tensão, corrente, potência nos terminais de elementos específicos do sistema, plotar gráficos com o fluxo de potência instantâneo do circuito, exportar resultados da simulação executada, entre outras [11].

A. Sistema de distribuição da UFMT

Para o presente trabalho, foi estudado o SD da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), campus Cuiabá. O campus fica localizado no bairro Boa Esperança e possui 774.700 m² de área onde encontram-se 22 unidades acadêmicas que atendem 55 cursos de graduação e cerca de 10 mil alunos [12]. Ainda que há uma quantidade elevada de transformadores, totalizando 73, a UFMT é considerada uma UC única com potência instalada. Além disso, o campus se enquadra no grupo consumidor A4 com tensão de fornecimento contratada de 13,8 kV em ligação trifásica [11].

Por ser um alimentador exclusivo de área urbana, de modo em que a SE é próxima ao centro de carga, não se encontra banco de capacitor ou regulador de tensão na extensão na linha para garantir um nível de tensão adequado, uma vez que a queda de tensão não compromete a QEE solicitada pelo Módulo 8 do PRODIST [10]. A UFMT contém uma variedade de cargas que compreendem desde cargas comuns como iluminação, computadores, etc., a cargas mais específicas como aparelhagem de laboratórios e afins. As edificações presentes no campus apresentam funcionalidades diferentes como: blocos universitários, administrativos, biblioteca, prefeitura do campus (SINFRA), hospital veterinário, museu, ginásio, quadras esportivas, teatro, centro cultural, restaurante universitário e casa do estudante. O horário de funcionamento desses blocos varia conforme suas atividades, os blocos didáticos operando das 07h30 às 22h e os prédios

administrativos com um funcionamento em horário comercial, ou seja, das 07h30 às 18:00.

O sistema elétrico interno da UFMT é composto de 73 transformadores que são distribuídos pelo campus, a modelagem do SD em questão foi realizada anteriormente em [11]. Com relação a este estudo acrescentou-se a modelagem dos VE à rede de distribuição considerando seis cenários de penetração dos mesmos, objetivando a análise de perdas técnicas no que tange o circuito interno completo.

B. Alocação e quantidade de pontos de recarga

1) Alocação

As alocações dos pontos de carregamento de VE foram distribuídas de forma estratégica considerando os estacionamentos presentes na UFMT. As numerações correspondentes aos transformadores e suas localizações foram retiradas de [11]. O mapa e a topologia da rede de distribuição do campus com os pontos de carregamento de automóveis elétricos estão ilustrados no ANEXO A.

2) Quantidade de pontos de recarga

A quantidade de pontos de conexão de VE ao SD da UFMT foi definida com base em uma pesquisa que desenvolveu um questionário com os estudantes e funcionários (professores e técnicos) da UFMT - Campus de Cuiabá, com o objetivo de definir o perfil de viagens dessas pessoas, ou seja, origem das viagens, horário de chegada e saída, tempo de deslocamento e transporte utilizado. Assim, através da definição desse perfil levantou-se o comportamento de possíveis usuários de VE no campus. Ao todo, concluiu-se que de 1639 pessoas, 529 utilizam carro próprio [13]. Com relação ao presente trabalho, escolheu-se utilizar metade do valor obtido de pessoas que utilizam carro próprio, ou seja, 265 tomadas em conexão com a rede interna do campus. Assim, analisando o impacto relacionado as perdas técnicas no SD com metade de 529, isto é, metade do valor que seria considerado real de veículos elétricos na UFMT.

Para a quantidade de tomadas em cada estacionamento levou-se em consideração a extensão da área dos mesmos. Logo, para estacionamentos maiores como os de blocos universitários e o do Restaurante Universitário (R.U.), foram alocadas 30 tomadas. Já para o estacionamento na região da PRAE (Pró-reitora de Assistência Estudantil), por ter uma área menor, foram alocadas 25 tomadas. Por fim, totalizando 265 tomadas conectadas ao SD da universidade. A Tabela I mostra as quantidades de pontos de conexão de VE e seus transformadores correspondentes.

TABELA I
Quantidade de pontos de conexão de VE

Transformador	Localização (bloco)	Nº de tomadas
1	FD	30
7	FANUT	30
16	FENF	30
40	R.U.	30
45	FAET	30
46	IF	30

56	PRAE	25
64	IL	30
66	FACC	30
Total de tomadas		265

C. Modelagem dos veículos elétricos

O modelo de VE usado neste trabalho é o Nissa Leaf [15][16] em razão de dispor de um preço mais baixo em relação aos outros PHEV's. As principais características do Nissan Leaf, empregadas nesse artigo, encontram-se na Tabela II.

TABELA II
Características do Nissan Leaf

Características	Nissan Leaf
Capacidade da bateria	40 kWh
Capacidade útil da bateria	36 kWh
Autonomia da bateria	240 km
Eficiência	0,164 kWh/km
Máxima potência de recarga	6,6 kW

A modelagem do VE, foi por meio do elemento de armazenamento “bateria”, “Storage” do software OpenDSS. Este elemento é essencialmente um gerador que pode ser utilizado no modo de descarga (fornecendo energia) ou carga (consumindo energia) dentro de sua classificação de potência e sua capacidade de energia armazenada. O mesmo pode atuar de forma independente ou pode ser controlado através de um elemento controlador denominado de “StorageController” [17]. Neste trabalho, o elemento “Storage” foi definido no modo de carga representando a recarga do VE. Algumas especificidades desses elementos foram usadas na modelagem da recarga dos veículos e elas serão apresentadas a seguir.

Para o elemento “Storage”:

- *phases*: número de fases utilizadas na recarga do VE. Assim, foram utilizados “*phases*” igual a 3.
- *bus*: a barra em que há conexão com o ponto de recarga da bateria. As barras empregadas foram as específicas de cada transformador escolhido para o acoplamento das baterias. Destaca-se que a escolha dos transformadores se deu de forma que correspondesse ao estacionamento do bloco alimentado pelos mesmos.
- *kv*: tensão nominal de conexão da bateria no sistema. As conexões utilizadas foram todas trifásicas, assim, especificando a tensão fase-fase. Portanto, o valor de “kv” usado foi 0,22 kV.
- *kWrated*: classificação da potência de recarga ou descarga em kW por uma hora. Neste caso, como já definido anteriormente, o modo de uso foi somente de recarga. Por fim, a potência determinada para recargas trifásicas foi de 6,6 kW, capacidade essa previamente definida anteriormente pelas características elétricas do veículo escolhido, no caso, o Nissan Leaf.
- *kWhrated*: capacidade nominal de armazenamento da bateria em kWh. Foi utilizado a capacidade útil de 36

kWh, parâmetro também definido pelo fabricante do VE usado neste projeto.

- *State*: caracteriza o estado de operação da bateria, tendo três modos de operação que compreendem a velocidade e forma da carga. Podendo ser utilizada somente no modo de recarga, como também no modo de descarga. Esses três modos são definidos como: “IDLING”, “CHARGING” e “DISCHARGING”. A bateria foi modelada somente no modo de carga, com isso a propriedade “*State*” foi estabelecida apenas para o modo “CHARGING” de operação. Esta bateria tende a recarregar até que se atinja a quantidade máxima de armazenamento.
- *%stored*: corresponde a porcentagem da quantidade de energia armazenada na bateria em relação ao kWh total. Foram determinadas porcentagens de acordo com os horários de conexão dos veículos com o SD. De acordo com o que se demonstra no subtópico posterior este parâmetro foi definido em três porcentagens diferentes: 20% para conexões no período noturno, 40% para o período da tarde e 60% para o período da manhã.

Para o elemento “*StorageController*”, as seguintes propriedades foram utilizadas:

- *element*: nome da bateria em que há o controle, como por exemplo: *storage.Bateria1*.
- *terminal*: número correspondente ao terminal da bateria onde há conexão com o controle. Para este caso, a propriedade “*terminal*” é igual a 1.
- *ModeCharge*: determina o modo de operação de carga desse controlador. Neste caso, usado como “*Time*”, em que a recarga é iniciada em um uma hora determinada. Desta forma, faz-se o controle do início de recarga das baterias.
- *%RateCharge*: estabelece a porcentagem total de recarga das baterias, sendo este valor estabelecido como 100%.
- *TimeChargeTrig*: corresponde a hora do dia em que as baterias ao serem conectadas iniciarão as recargas. Sendo esta propriedade definida em três horários iniciais diferentes de carregamento das baterias: 8h, 13h e 18h.
- *ElementList*: lista com os nomes das baterias controladas por este controlador, por exemplo: *Bateria1*.

Um exemplo de trecho do código da modelagem dos veículos elétricos é apresentado no detalhe abaixo:

1. *New Storage.Bateria1 phases=3 bus=C45 kv=0.22 kWRated=6.6 kWhRated=36 State=CHARGING %stored=60*
2. *New StorageController.Bateria1 element=storage.Bateria1 terminal=1 ModeCharge=Time* %RateCharge=100 TimeChargeTrig=8 ElementList=Bateria1*

As propriedades principais que se diferem para cada bateria são: “*TimeChargeTrig*”, “*%stored*” e “*bus*”. Pois, são fatores

que implicam em características individuais de cada bateria. Neste trecho do código anterior, como exemplo, demonstra-se a conexão da bateria 1 com o transformador de número 45 pertencente ao bloco universitário FAET. Logo “*bus*” é igual a “C45”. Como a “Bateria1” foi conectada à rede de distribuição às 8h da manhã, ou seja, “*TimeChargeTrig*” igual a 8, a porcentagem atual na hora da conexão (*%stored*) foi definida como 60%. Determinações essas, demonstradas na subseção D -- Estratégia de recarga.

A porcentagem de inserção dos VE na rede elétrica do campus são: 5%, 25%, 50%, 75% e 100%. Estes cálculos foram referenciados ao total de 265 tomadas. A quantidade correspondente de baterias conectadas em cada cenário é ilustrada na Tabela III.

TABELA III
Porcentagem de inserção dos veículos elétricos

Porcentagem de VE inseridos no sistema	Quantidade de baterias
0%	0
5%	13
25%	66
50%	132
75%	198
100%	265

O número de baterias em cada cenário foi dividido de forma igual entre os horários de inserção dos VE em cada transformador.

D. Estratégia de recarga

Como a recarga das baterias ocorreu de forma controlada pelo elemento “*StorageController*”, as propriedades “*%stored*” e “*TimeChargeTrig*” foram estabelecidas com base nos horários de funcionamento dos blocos associados aos transformadores que alimentam as tomadas. Para “*TimeChargeTrig*” foram determinados três horários de conexão: 8, 13 e 18 horas. Nos blocos que suas atividades funcionam de forma integral (com exceção do bloco do curso de Direito), o número de tomadas foi dividido de maneira igualitária, logo, das 30 tomadas totais, 10 baterias foram conectadas em cada horário. Já para os pontos de conexões alocados no bloco de Direito, como suas atividades se concentram nos períodos matutinos e noturnos, 12 baterias conectaram-se pela manhã e à noite, totalizando 24 baterias. Ademais, o restante conectou-se de tarde, ou seja, 6 baterias. Por fim, como as atividades no prédio da PRAE ocorrem em horário comercial, as conexões ocorreram apenas nos horários de 8 e 13 horas. Assim, acoplou-se de um total de 25 tomadas, 13 às 8 horas e 12 às 13 horas. A Tabela IV mostra os horários de inserção e a quantidade de baterias constituintes.

TABELA IV
Horário de conexão dos veículos elétricos

Transformador (Nº- bloco)	08:00	13:00	18:00	Total
1 - DI	13	6	12	30
7 - FANUT	10	10	10	30
16 - FENF	10	10	10	30
40 - R.U.	10	10	10	30
45 - FAET	10	10	10	30
46 - IF	10	10	10	30
56 - PRAE	13	12	0	25
64 - IL	10	10	10	30
66 - FACC	10	10	10	30

Já para “%stored”, três valores foram considerados a partir do horário de conexão dessas baterias com o SD. Partindo do princípio que os donos dos veículos vieram direto de casa no caso de horários de chegada as 8 horas e as 13 horas, quando conectadas as 8 horas da manhã foi atribuído que a porcentagem remanescente corresponde a 60% e para conexões feitas as 13 horas considerou-se um valor percentual de 40%. Com relação as baterias acopladas ao sistema de distribuição as 18 horas, previu-se 20%. Pois considerou-se que esses indivíduos estariam voltando de seus trabalhos e indo para atividades no período da noite na UFMT. Assim, considera-se que eles andaram mais durante o dia, por isso, têm um percentual menor de carga nas baterias dos veículos.

Com isso, a Tabela V a seguir demonstra a quantidade de tomadas equivalentes a cada porcentagem.

TABELA V
Quantidade de VE por porcentagem de bateria remanescente

Transformador (Nº- bloco)	20%	40%	60%	Total
1 - DI	12	6	12	30
7 - FANUT	10	10	10	30
16 - FENF	10	10	10	30
40 - R.U.	10	10	10	30
45 - FAET	10	10	10	30
46 - IF	10	10	10	30
56 - PRAE	0	12	13	25
64 - IL	10	10	10	30
66 - FACC	10	10	10	30

III. RESULTADOS

A. Perdas técnicas

Como a recarga de VE representa um acréscimo de carga na rede elétrica, de impacto local ou não, as perdas totais do sistema tendem a aumentar, visto que a carga total requisitada da subestação aumenta [18]. Com isso, pode-se verificar na Fig. 1 que as perdas técnicas no sistema de distribuição de energia elétrica da UFMT aumentaram em todos os cenários de simulação conforme a taxa de penetração desses veículos no SD crescia. Entretanto, nota-se que esse aumento

percentual das perdas não se deu de forma linear. Isto deve-se, sobretudo, aos horários de conexão serem diferentes e ao índice de penetração desses VE.

Apesar de existir elevação nos índices de perdas do cenário base para o cenário com 5% de penetração de VE, estas variações não foram muito expressivas por conta do baixo número de VE inseridos. Sendo assim, como exibem os resultados, o caso base apresenta perda máxima de 4,06% no sistema, registrando um aumento percentual de 0,10%, 0,39%, 1,01%, 1,6% e 2,24% para os cenários de 5%, 25%, 50%, 75% e 100%, respectivamente, em comparação com o cenário base. Na Figura 1, a faixa multicolor a direita no gráfico representa a variação da porcentagem das perdas da mínima e máxima, ou seja, de 1,5% a 6,30%.

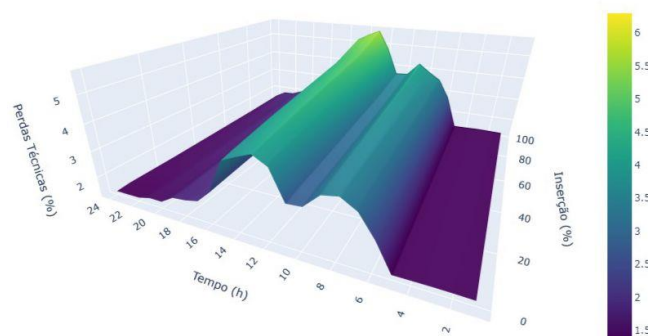


Fig. 1. Gráfico das perdas técnicas no SD para todos os cenários de simulação

Além disso, as perdas máximas resultantes no sistema deram-se às 13 horas em todos os cenários. Pois, neste horário há o maior índice de carga no sistema de distribuição, assim como mostra Figura 2 [11].

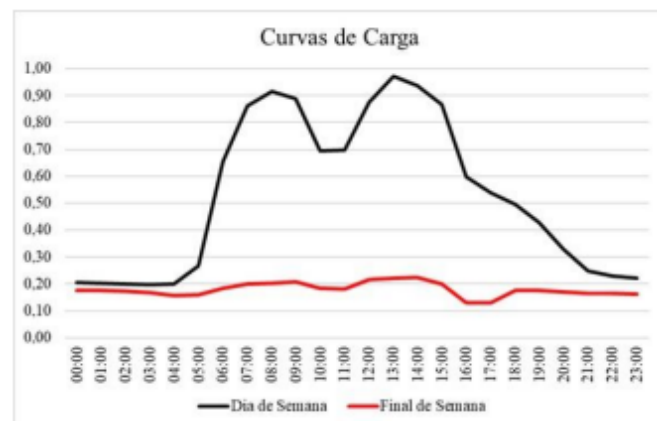


Fig. 2. Curvas de carga do SD

B. Carregamento dos transformadores

A verificação do carregamento dos transformadores foi realizada através do apontamento da demanda em KVA nos 9 transformadores em que há conexão de VE, com uma resolução de 1 hora para um período de tempo de 24 horas, por fim, comparou-se as demandas com a potência nominal dos transformadores. Como descrito no subtópico anterior, o perfil da curva de carga se manteve, com isso, as demandas máximas por transformador, em cada situação da simulação,

permaneceu em geral no horário de 13 horas e as maiores demandas foram no cenário de 100% de VE acoplados ao SD.

No entanto, observou-se que comparando o percentual da máxima demanda de cada transformador em relação a potência nominal dos mesmos, esse índice ainda é muito baixo. A Tabela VI demonstra as porcentagens correspondentes das máximas demandas por transformador da potência nominal dos mesmo para o cenário de 100%.

TABELA VI
Porcentagem da demanda máx. nos transformadores em relação a potência nominal

Transformador	Potência nominal (kVa)	Porcentagem da demanda máxima
1 - DI	300	19,19%
7 - FANUT	225	21,61%
16 - FENF	300	18,53%
40 - R.U.	300	18,56%
45 - FAET	500	15,39%
46 - IF	500	15,38%
56 - PRAE	150	29,72%
64 - IL	300	18,42%
66 - FACC	225	21,44%

IV. CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, conclui-se que a penetração massiva e descoordenada de veículos elétricos na rede de distribuição gera inúmeras variáveis que contribuem para a redução da Qualidade da Energia Elétrica. Desta forma, por influência da expansão dos veículos plug-in, a verificação das perdas elétricas torna-se cada vez mais relevante, principalmente em ambientes como a UFMT em que há uma grande concentração de automóveis diariamente. Logo, solicita-se que as concessionárias de energia executem exames regularmente integrando os impactos decorrentes dos VE do tipo plug-in.

A respeito da conexão dos veículos à rede de distribuição, pode-se observar que com o uso das estratégias de controle de recarga, prevê-se mais precisamente os impactos na rede elétrica, utilizando assim de uma análise determinística. No entanto, está análise se torna limitada no que se refere a variáveis aleatórias. Assim, para se ter um estudo mais realista, necessita-se de mais tempo de estudo e do desenvolvimento de uma análise probabilística.

Tratando-se das perdas técnicas, para todos os cenários com diferentes níveis de penetração de automóveis elétricos ao SD, horário de conexão e porcentagem útil de carga remanescente, há um aumento percentual de perdas significativo. A elevação percentual das perdas máximas foi de 55,17% do caso base para o cenário com 100% de veículos conectados.

Já para o carregamento dos transformadores, pode-se comprovar que em nenhum cenário houve sobrecarga dos transformadores. Como o maior índice de sobrecarga ser de 29,72%, o que está abaixo de 50%, a penetração máxima de VE à rede de distribuição não interfere na vida útil dos

transformadores. Assim, não comprometendo o funcionamento dos mesmos e, conseqüentemente, necessidade de haver troca desses componentes.

Logo, apesar dos impactos apresentados, nota-se que o sistema de distribuição interno do campus, suporta essa quantidade de veículos conectados, total de 265, sem comprometer a operação da rede elétrica atual. Diante disso, o SD não necessita de um redimensionamento para suprir o acoplamento dos veículos elétricos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por ter me sustentado até aqui e não ter me deixado desistir em diversos momentos difíceis.

Sou extremamente grata a minha família, em especial aos meus pais, José Frederico e Silvia, que me deram a oportunidade de viver essa experiência que proporcionou não só meu crescimento intelectual, mas também meu desenvolvimento pessoal.

Aos meus queridos irmãos que também contribuíram com essa caminhada: Vanessa, Fred, Ana Gabriela e João Guilherme. Aos meus cunhados que em momentos dessa trajetória me ajudaram neste processo: Jéssica Nayara e Luciano Bueno.

Expresso minha gratidão também a pessoas especiais que com amor, carinho e apoio me ajudaram a chegar até aqui: Arlete, Rayssa, Luan Mateus, Lorena, Gabriela, Juan Victor e Semy.

Aos meus amigos de faculdade que tornaram essa jornada mais leve e divertida, em especial: Thaynara, Emily, Aleph, Lucas Rodrigo, Alexandre Antunes, Vinicius Nunes e Jader José.

Ao meu querido amigo e Prof Dr. Patrick Siqueira da Rocha (in memoriam), por todo seu carinho, conselhos e apoio.

Por fim, à minha orientadora Prof^a Camila dos Anjos Fantin, pela sua paciência, compreensão e carinho nesse momento decisivo da minha vida acadêmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Em: <https://archive.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- [2] AIE, *Global EV Outlook 2020*, IEA, Paris, 2020 Em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- [3] AIE, *Global EV Outlook 2021*, AIE, Paris, 2021 Em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- [4] DENATRAN. Estatísticas - Frota de Veículos - DENATRAN. 2021. Em: *Frota de Veículos - 2021 — Português (Brasil)* (www.gov.br)
- [5] ABVE. 1º Debate IE/ABVE Sobre Eletromobilidade - ABVE. 2022. Em: <https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>
- [6] Código de Trânsito Brasileiro, Projeto de Lei Ordinária Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 Em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:senado.federal:projeto.lei:pls:2017;304>

- [7] L.M. Fernandes, ESTUDOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO VEHICLE TO GRID NA REDE ELÉTRICA DO CT/UFRJ. *Repositório UFRJ*, 31 maio 2020.
Em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019849.pdf>.
- [8] CAMEX. Camex aprova redução da alíquota do Imposto de Importação para carros elétricos e movidos a células de combustível. 2015. Em: <http://www.camex.gov.br/noticias-da-camex/262-camex-aprova-reducao-da-aliquota-do-imposto-de-importacao-para-carros-eletricos-e-movidos-a-celulas-de-combustivel>.
- [9] V.C. Cunha, Aplicação de Sistemas de Armazenamento de Energia em Redes de Distribuição com Elevada Penetração de Geração Fotovoltaica e Veículos Elétricos. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Campinas, Campinas, 2017.
- [10] Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST: Módulo 7: Cálculo de perdas na distribuição. 2018.
- [11] E.C.C. de. Souza, Análise da previsão do aumento de carga do sistema de distribuição da UFMT via OpenDSS. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 114 f. 2020.
- [12] Pró-reitoria de Planejamento – PROPLAN – *Anuário Estatístico*, 2017: Ano base 2016 Em: <https://www1.ufmt.br/ufmt/unidade/index.php/secao/visualizar/10058/PROPLAN>.
- [13] S.Y.L. Kemura, M.L. de B. Baltar, R.V.A. Monteiro, AJUSTE DE FUNÇÕES PARA O COMPORTAMENTO DE USUÁRIOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO, 10 pag.
- [14] H.F.S. Lima, Avaliação dos impactos da conexão de veículos elétricos no sistema de distribuição, Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia Elétrica . 62 f. , 2021.
- [15] EV Database. Nissan Leaf. 2021.
Em: [Nissan Leaf \(2018-2022\) preço e especificações - EV Database \(ev-database.org\)](https://ev-database.org/)
- [16] Nissan. Novo Nissan Leaf - Autonomia e Recarga. 2020.
- [17] P.C. Nascimento, Avaliação Probabilística dos Impactos de Veículos Elétricos no Desempenho de Regime Permanente de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica , São Carlos, 159 f. , 2021.
- [18] M. Muratori, Impact of uncoordinated plug-in electric vehicle charging on residential power demand. *Nature Energy* 3, Springer US, v. 3, n. 3, p. 193–201, 2018.

ANEXO A

Neste anexo será apresentado primeiramente o mapa da UFMT com os pontos de carregamento de veículos elétricos nos estacionamentos.

