



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

JULIANO FACHIM ORTIZ

**PROJETO E MODELAGEM DE UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO ELÉTRICO: MECÂNICA E  
ELÉTRICA**

CUIABÁ – MT  
JUNHO, 2023

JULIANO FACHIM ORTIZ

**PROJETO E MODELAGEM DE UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO ELÉTRICO: MECÂNICA E  
ELÉTRICA**

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. Dr. Fabricio Parra Santilio

CUIABÁ – MT  
JUNHO, 2023

## Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

O77p Ortiz, Juliano Fachim.  
Projeto e modelagem de um protótipo de veículo elétrico: mecânica e elétrica [recurso eletrônico] / Juliano Fachim Ortiz. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 26 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Fabricio Parra Santilio.  
TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2023.  
Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.  
Inclui bibliografia.

1. Veículo elétrico, Modelagem, Protótipo, Tração elétrica. I. Santilio, Fabricio Parra, *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 23108.034063/2023-61

Interessado: JULIANO FACHIM ORTIZ

### FOLHA DE APROVAÇÃO

#### **TÍTULO DA MONOGRAFIA: PROJETO E MODELAGEM DE UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO ELÉTRICO: MECÂNICA E ELÉTRICA**

ALUNO: Juliano Fachim Ortiz

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 01 de junho de 2023.

Nota:10,00

#### **BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Fabricio Parra Santilio - Orientador**

**Profa. Dra. Camila dos Anjos Fantin**

**Prof. Dr. José Mateus Rondina**



Documento assinado eletronicamente por **FABRICIO PARRA SANTILIO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 01/06/2023, às 15:30, 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 **CAMILA DOS ANJOS FANTIN, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 01/06/2023, às 15:31, 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 **JOSE MATEUS RONDINA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 01/06/2023, às 15:36, 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\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_externo=0), informando o código verificador **5772921** e o código CRC **B3FAF47B**.

---

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho ao meu amado avô, Olivio Fachim, cujo apoio e inspiração permanecem vivos em minha memória.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu crescimento pessoal e acadêmico ao longo dessa jornada. Em primeiro lugar, agradeço imensamente minha família pelo apoio incondicional e amor que me deram ao longo dessa jornada. Agradeço também aos meus amigos, colegas de curso e a equipe Ohmega UFMT, cujo encorajamento e troca de ideias foram essenciais para o sucesso deste trabalho. Além disso, sou imensamente grato aos professores, especialmente à Camila dos Anjos Fantin e ao Fabrício Parra Santilio, por sua orientação valiosa e comprometimento em ajudar-me a alcançar meus objetivos.

## RESUMO

ORTIZ, J. F. **Projeto e modelagem de um protótipo de veículo elétrico: mecânica e elétrica**. 2023. 19f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2023.

O presente artigo aborda o projeto e a modelagem 3D completa de um protótipo de veículo elétrico de pequeno porte. Inicialmente, foram realizadas pesquisas sobre modelos de protótipos existentes, buscando compreender os componentes e características construtivas desses veículos. Inspirado pelos veículos do BAJA SAE BRASIL e FÓRMULA SAE BRASIL, foram estabelecidas premissas e requisitos para o desenvolvimento do modelo. Foram realizados cálculos e simulações para garantir o desempenho esperado do veículo, além do dimensionamento das peças e equipamentos. Com o uso de softwares de CAD 2D e 3D, foram efetuadas as modelagens mecânica e elétrica, afim de facilitar a visualização do projeto aproximando-o da realidade. Este trabalho busca contribuir para a compreensão e aplicação dos princípios de modelagem e projeto adequado nesse contexto de desenvolver um protótipo de veículo elétrico de dimensões reduzidas.

Palavras-chave: Veículo elétrico. Modelagem. Protótipo. Tração elétrica.

## ABSTRACT

ORTIZ, J. F. **Design and modeling of an electric vehicle prototype: mechanical and electrical**. 2023. 19f. Final Graduation Project (Graduation in Electrical Engineering) Federal University of Mato Grosso. Cuiabá, 2023.

This paper discusses the design and complete 3D modeling of a small electric vehicle prototype. Initially, research was conducted on existing prototype models, seeking to understand the components and construction characteristics of these vehicles. Inspired by the BAJA SAE BRASIL and FÓRMULA SAE BRASIL vehicles, the premises and requirements for the model development were established. Calculations and simulations were performed to ensure the expected performance of the vehicle, as well as sizing some parts and equipment. Using a 2D and 3D CAD softwares, the mechanical and electrical modeling was carried out in order to facilitate the project visualization, bringing it closer to reality. This work aims to contribute to the understanding and application of modeling principles and proper design in this context of developing a small-scale electric vehicle prototype.

Keywords: Electric vehicle. Modeling. Prototype. Electric propulsion.

**LISTA DE FIGURAS**

Fig. 1. Tipos de veículos elétricos .....	18
Fig. 2. Vendas de veículos elétricos por tipo .....	19
Fig. 3. Número de modelos de carros elétricos e autonomia por tipo .....	19
Fig. 4. Peças para cada sistema do protótipo .....	21
Fig. 5. Dimensões e design do chassi .....	22
Fig. 6. Protótipo e seus sistemas .....	22
Fig. 7. Versão final do protótipo .....	23
Fig. 8. Possíveis configurações do banco de baterias .....	24
Fig. 9. Tabela 36 da norma ABNT NBR 5410 .....	24
Fig. 10. Distâncias dos condutores do protótipo .....	25
Fig. 11. Baterias, controlador e motor em esquema 2D.....	25
Fig. 12. Baterias, controlador e motor em esquema 3D.....	25
Fig. 13. União da modelagem mecânica e elétrica em software.....	25

**LISTA DE TABELAS**

Tabela I. Características dos VEB, VEH, VEHP e VECC .....	17
Tabela II. Vantagens e desvantagens da implementação de um protótipo com tração puramente elétrica	18
Tabela III. Requisitos primários para o projeto .....	20
Tabela IV. Peso dos componentes do protótipo.....	22

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAD	Computer Aided Design
CO2	Dióxido de Carbono
ICCT	International Council on Clean Transportation
IEA	International Energy Agency
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
VE	Veículo Elétrico
VEB	Veículo Elétrico a Bateria
VEH	Veículo Elétrico Híbrido
CC	Corrente-contínua
VEHP	Veículo Elétrico Híbrido Plug-in
VECC	Veículo Elétrico a Célula de Combustível
CA	Corrente-alternada
PWM	Pulse Width Modulation
BLDC	Brushless DC
RPM	Rotações Por Minuto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Técnica Brasileira
FCT	Fator de Correção por Temperatura
FCA	Fator de Correção por Agrupamento
PVC	Policloreto de Vinila

## LISTA DE SÍMBOLOS

P	Potência ativa
T	Torque
W	Velocidade angular
D1	Diâmetro de uma polia 1
D2	Diâmetro de uma polia 2
T1	Torque referente a polia 1
T2	Torque referente a polia 2
F	Força aplicada
r	Raio da polia
m	Massa de um corpo
a	Aceleração
P <sub>total</sub>	Peso total do tubo de metal
P <sub>tabela</sub>	Peso do tubo dado em tabela
C <sub>total</sub>	Comprimento total do tubo
C <sub>tabela</sub>	Comprimento do tubo dado em tabela
P <sub>total</sub>	Peso total da chapa de metal
L <sub>chapa</sub>	Largura da chapa de metal
C <sub>chapa</sub>	Comprimento da chapa de metal
E <sub>chapa</sub>	Espessura da chapa de metal
$\rho$	Peso específico do aço
N	Número de rotações por minuto
f	Frequência
p	Número de polos em um motor
Z <sub>equivalente</sub>	Impedância total equivalente
R	Resistência elétrica
X <sub>l</sub>	Indutância elétrica
V <sub>nominal</sub>	Tensão nominal
I	Corrente elétrica nominal
I <sub>corrigida</sub>	Corrente de projeto corrigida
F <sub>CT</sub>	Fator de Correção por Temperatura
F <sub>CA</sub>	Fator de Correção por Agrupamento
R <sub>cabo</sub>	Resistência do cabo

l	Comprimento do cabo
Ncondutores	Número de condutores no cabo
PCu30°C	Resistividade elétrica do cobre em temperatura ambiente de 30°C
S	Seção nominal do cabo

## SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO.....	17
II. REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
A. Veículos Elétricos.....	18
1) Comparativo dos tipos de veículos elétricos .....	18
B. Protótipo de Pequeno Porte Puramente Elétrico .....	19
1) Aspectos favoráveis e desfavoráveis .....	19
2) Princípios fundamentais de funcionamento.....	19
2.1) Controle.....	19
a. Conversores.....	19
b. Modulação por largura de pulso (PWM) .....	19
2.2) Armazenamento .....	20
2.3) Motores .....	20
a. Motores CC convencionais .....	20
b. Motores CC sem escovas .....	20
C. Processo de Modelagem 3D em Projetos.....	20
1) Software de modelagem .....	20
III. METODOLOGIA .....	20
IV. PROJETO E MODELAGEM MECÂNICA .....	21
A. Desenvolvimento.....	21
B. Resultados.....	23
V. PROJETO E MODELAGEM ELÉTRICA.....	23
A. Desenvolvimento .....	23
B. Resultados.....	25
VI. CONCLUSÕES .....	25
ANEXO.....	27

# PROJETO E MODELAGEM DE UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO ELÉTRICO: MECÂNICA E ELÉTRICA

Juliano Fachim Ortiz

Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia – UFMT/FAET  
Campus Cuiabá – MT. E-mail: fachimjuliano@gmail.com

**Resumo** - O presente artigo aborda o projeto e a modelagem 3D completa de um protótipo de veículo elétrico de pequeno porte. Inicialmente, foram realizadas pesquisas sobre modelos de protótipos existentes, buscando compreender os componentes e características construtivas desses veículos. Inspirado pelos veículos do BAJA SAE BRASIL e FÓRMULA SAE BRASIL, foram estabelecidas premissas e requisitos para o desenvolvimento do modelo. Foram realizados cálculos e simulações para garantir o desempenho esperado do veículo, além do dimensionamento das peças e equipamentos. Com o uso de softwares de CAD 2D e 3D, foram efetuadas as modelagens mecânica e elétrica, afim de facilitar a visualização do projeto aproximando-o da realidade. Este trabalho busca contribuir para a compreensão e aplicação dos princípios de modelagem e projeto adequado nesse contexto de desenvolver um protótipo de veículo elétrico de dimensões reduzidas.

**Palavras-Chave** – Veículo elétrico. Modelagem. Protótipo. Tração elétrica.

## DESIGN AND MODELING OF AN ELECTRIC VEHICLE PROTOTYPE: MECHANICAL AND ELECTRICAL

**Abstract** – This paper discusses the design and complete 3D modeling of a small electric vehicle prototype. Initially, research was conducted on existing prototype models, seeking to understand the components and construction characteristics of these vehicles. Inspired by the BAJA SAE BRASIL and FÓRMULA SAE BRASIL vehicles, the premises and requirements for the model development were established. Calculations and simulations were performed to ensure the expected performance of the vehicle, as well as sizing some parts and equipment. Using a 2D and 3D CAD softwares, the mechanical and electrical modeling was carried out in order to facilitate the project visualization, bringing it closer to reality. This work aims to contribute to the understanding and application of modeling principles and proper design in this context of developing a small-scale electric vehicle prototype.

**Keywords** – Electric vehicle. Modeling. Prototype. Electric propulsion.

### I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com as mudanças climáticas tem crescido exponencialmente em todo o mundo,

impulsionada por eventos climáticos extremos, como ondas de calor e secas, que afetam a vida de milhões de pessoas. O Acordo de Paris, adotado em dezembro de 2015 por 195 países, é um marco importante na luta contra as mudanças climáticas, estabelecendo a ambiciosa meta de manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais (pré-revolução industrial), e buscando esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C [1].

Uma das principais causas das mudanças climáticas é a emissão de gases do efeito estufa, que são produzidos principalmente pela queima de combustíveis fósseis no setor de transporte, que representa cerca de 20% das emissões globais de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub> [2]. A rápida expansão da frota de veículos em todo o mundo, principalmente em países em desenvolvimento, tem contribuído significativamente para o aumento dessas emissões.

Para Soares [3], “a mobilidade elétrica constitui uma solução de mobilidade terrestre que assegura o deslocamento dos indivíduos, com impactos reduzidos ou nulos sobre o ambiente”. Assim, a mobilidade elétrica é vista como aliada às medidas propostas pelo Acordo de Paris, buscando fortalecer o combate à ameaça da mudança climática e maneiras de lidar com os impactos gerados por essas mudanças.

Segundo o Conselho Internacional de Transporte Limpo (ICCT, do inglês *International Council on Clean Transportation*), um veículo elétrico equipado com uma bateria de tamanho médio é capaz de emitir entre 60% a 68% menos dióxido de carbono ao longo da sua vida útil, quando comparado a um veículo com motor de combustão interna [4]. À vista disso, a popularização dos veículos elétricos se tornou inevitável. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, do inglês *International Energy Agency*), as vendas globais de carros elétricos tiveram um crescimento de aproximadamente 500% entre 2018 e 2022 [5]. Somente no último ano, foram vendidos cerca de 10 milhões de automóveis, conforme dados da agência.

Entretanto, a situação é diferente dentro do país. Com menos investimentos aplicados em pesquisa, estrutura e produção dos modais elétricos em relação a outros países, além da falta de incentivos, o Brasil ainda está engatinhando na adesão destas tecnologias. Contudo, o país possui um enorme potencial de desenvolvimento. Para Castro, Barros e Veiga [6] “o Brasil é o país em que, em tese, os benefícios ambientais da adoção dos veículos elétricos são mais importantes, pois haveria uma redução substancial na poluição nas cidades sem deslocá-la para as usinas de geração de energia, visto que a matriz energética brasileira é concentrada em fontes renováveis”.

Nesse contexto, surge a equipe Ohmega UFMT, criada inicialmente como projeto de extensão do curso de Engenharia

Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), campus Cuiabá. A equipe tem por objetivo difundir informações sobre a mobilidade elétrica, realizando diversas ações que conectam tecnologias sustentáveis à comunidade. Uma dessas ações é o desenvolvimento de um protótipo de veículo elétrico, modelo kart, aplicando os conhecimentos teóricos da graduação, na prática.

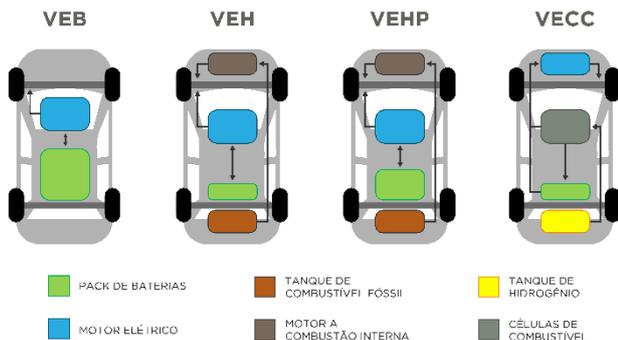
Dessa maneira, este trabalho se propõe a apresentar o desenvolvimento deste protótipo, dando ênfase na parte técnica. Abordando etapas de projeto e modelagem, foram utilizadas ferramentas de modelagem 2D e 3D, além de diversos cálculos para a parte mecânica e elétrica do veículo. Acredita-se que este trabalho trará contribuições significativas para a equipe Ohmega UFMT, bem como para a consolidação da indústria nacional nesse setor em ascensão.

## II. REFERENCIAL TEÓRICO

O estudo do desenvolvimento de veículos elétricos tem ganhado mais relevância nos últimos anos, devido às preocupações com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Nesse contexto, para este trabalho, é fundamental compreender as características dos sistemas de propulsão elétrica, bem como as particularidades técnicas que o compõem e seu contexto.

### A. Veículos Elétricos

Um veículo elétrico (VE) é aquele tracionado por pelo menos um motor elétrico, ao contrário dos veículos com motor a combustão interna, em que o motor elétrico geralmente está ligado a outros sistemas periféricos, como o acionamento de vidros elétricos [7]. Isso significa que, em um VE, o motor elétrico é responsável pela movimentação do veículo. Na Figura 1 são apresentados os diferentes tipos de veículos elétricos mais comuns.



O primeiro apresentado na Figura 1 é o veículo elétrico a bateria (VEB), é o veículo 100% elétrico, não consumindo nenhum tipo de combustível fóssil e consequentemente emitindo menos poluentes. Os seus componentes mais importantes são os elementos de armazenamento de energia (podendo ser baterias ou supercapacitores), o controlador e o motor elétrico [8].

O VEB utiliza a energia armazenada na bateria para alimentar o motor elétrico e tracionar as rodas. Ao pisar no acelerador, por exemplo, o módulo de controle recebe e transmite a informação de quanta potência deve ser entregue

ao motor. Quando a energia das baterias se esgota, é possível recarrega-las utilizando a energia proveniente da rede elétrica, pela tomada, ou através de plugues de carregadores veiculares.

O segundo é o veículo elétrico híbrido (VEH), desenvolvido para superar as limitações dos veículos de combustão interna. Um VEH combina um sistema de propulsão convencional, a combustão, com um sistema de armazenamento de energia elétrica e um motor elétrico [9].

O VEH possui duas topologias que permitem configurações de trações diferentes: série e paralelo. No sistema série, a potência gerada pelo motor a combustão é convertida em potência elétrica por um alternador – retificador ou um gerador CC. A potência elétrica então é convertida em potência mecânica pelo motor elétrico, sendo este o único ligado diretamente ao sistema de transmissão do veículo [10].

Na configuração paralela, ambos os motores (combustão interna e elétrico) tem a capacidade de acionar diretamente as rodas, individualmente ou em conjunto [11]. Em ambas as configurações, o carregamento das baterias só pode ocorrer de maneira externa ou através da tecnologia de freio regenerativo.

O terceiro item, denominado de veículo elétrico híbrido plug-in (VEHP) possui as mesmas características e configurações do VEH comum, se diferenciando apenas no modo de carregamento. O VEHP tem ainda mais autonomia que o VEH, pois sua bateria pode ser recarregada conectando-se a uma rede elétrica [9].

O quarto e último é o veículo elétrico a célula de combustível (VECC), que utiliza células de combustível para gerar eletricidade a partir do hidrogênio e ar (oxigênio). O VECC emite apenas vapor de água e tem o potencial de ser altamente eficiente [9].

A eletricidade gerada pelas células de combustível pode fornecer energia diretamente ao motor ou ser armazenada na bateria ou supercapacitores para o uso futuro [12]. Se tratando do modo de reabastecimento deste tipo de veículo, é similar ao de um carro comum, mas ao contrário da gasolina/álcool ou diesel, é utilizado o hidrogênio pressurizado para encher completamente o tanque.

### 1) Comparativo dos tipos de veículos elétricos

A partir da Tabela I, adaptada de [9], pode-se comparar os quatro principais tipos de veículos elétricos de maneira mais aprofundada, comentando sobre os seus meios de propulsão, armazenamento de energia, fontes de energia e infraestrutura de carga e recarga, características e principais preocupações.

**TABELA I**  
**Características dos VEB, VEH, VEHP e VECC**

	VEB	VEH e VEHP	VECC
Propulsão	Motor elétrico	Motor elétrico Motor a combustão	Motor elétrico
Energia	Bateria e/ou supercapacitor	Bateria e/ou supercapacitor e combustível fóssil	Bateria e/ou supercapacitor e tanque de hidrogênio
Recarga	Estações de carregamento conectadas a rede elétrica	Postos de combustível e estações de	Postos de combustível

	carregamento (apenas VEHP)		
Características	Zero emissões, alta eficiência energética, autonomia curta/média e custo inicial alto	Baixas emissões, alta economia de combustível, autonomia longa, dependente de combustíveis fóssil	Zero emissões, alta eficiência energética, alto custo de aquisição, poucos modelos no mercado
Preocupações	Dimensionamento e gerenciamento de baterias, ciclo de vida das baterias, autonomia e custo	Dimensionamento e gerenciamento de baterias; controle, otimização e gerenciamento de múltiplas fontes de energia	Custo, ciclo de vida e confiabilidade das células de combustível; infraestrutura de produção e distribuição de hidrogênio; custo

Fazendo uma comparação a nível de mercado, a Figura 2 ilustra a quantidade de cada tipo de veículo elétrico vendido do ano 2015 até 2021. O VECC representa uma parcela muito pequena de veículos vendidos e modelos existentes, tendo sido desconsiderado para esta análise. O VEHP representa também o VEH, pois é de fato o modelo que emplacou no mercado devido a sua facilidade de carregamento via plug-in.

Na Figura 3, é possível analisar a quantidade de modelos de carros elétricos disponíveis, VEB e VEHP, além do avanço da autonomia para cada um dos tipos no mesmo intervalo da Figura 2. Os dados de autonomia consideram o uso do motor elétrico para locomoção, sem considerar a existência do motor a combustão interna no VEHP.



Fig. 2. Vendas de veículos elétricos por tipo

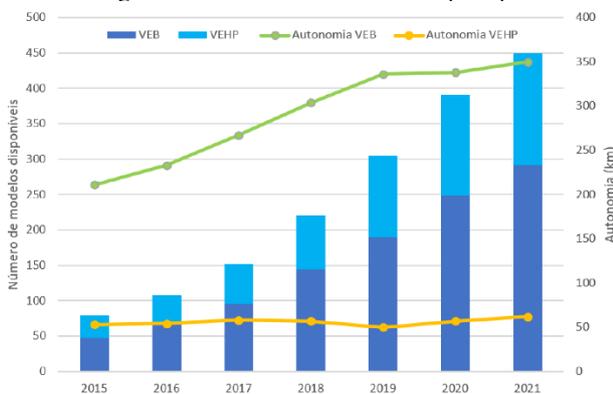


Fig. 3. Número de modelos de carros elétricos e autonomia por tipo

A partir das Figuras 2 e 3, nota-se a maior popularidade dos veículos puramente elétricos, sendo os mais vendidos no mercado e possuindo uma maior autonomia considerando a

zero emissão de poluentes, uma vez que a autonomia de um VEHP só é maior com o uso do motor a combustão interna.

## B. Protótipo de Pequeno Porte Puramente Elétrico

### 1) Aspectos favoráveis e desfavoráveis

Desenvolver um protótipo de veículo de pequeno porte pode ser um desafio árduo, exigindo conhecimento em diversas áreas, independente do seu tipo de energização e abastecimento. No entanto, optar por uma solução de tração puramente elétrica pode trazer diversas vantagens e desvantagens, como apresentado na Tabela II, adaptada de [13].

TABELA II

### Vantagens e desvantagens da implementação de um protótipo com tração puramente elétrica

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto torque de partida</li> <li>Baixo custo operacional</li> <li>Baixa manutenção</li> <li>Baixo ruído acústico</li> <li>Emissões zero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Custo alto de aquisição</li> <li>Tempo de autonomia curto (dezenas de minutos)</li> <li>Tempo de recarga longo (horas)</li> </ul>

### 2) Princípios fundamentais de funcionamento

A partir dos componentes mais importantes de um veículo elétrico, é possível compreender o básico do seu funcionamento. O módulo de controle (podendo ser um inversor de frequência, controlador de carga, conversores CC/CC ou CC/CA) recebe a informação dos pedais e faz o gerenciamento da energia que flui da bateria (chumbo-ácido, células de íon-lítio, etc) para o motor elétrico. Quando o veículo possui um sistema único de transmissão, a força que movimenta o veículo é diretamente proporcional à energia entregue pelo motor [10].

#### 2.1) Controle

O termo “módulo de controle” é utilizado como uma simplificação para descrever de maneira geral todas as unidades que compõem tanto o sistema elétrico de potência quanto o de controle. Dentre as principais características e componentes de um módulo de controle, destacam-se os conversores e as técnicas de controle, como a modulação por largura de pulso.

##### a. Conversores

Os conversores elétricos são equipamentos utilizados para a transmissão de sinais, realizando a conversão de energia elétrica em níveis altos, médios ou baixos de potência [14]. Dentre os tipos mais comuns de conversores, o conversor CC/CC é o que tem variadas tipologias que atendem a aplicação automotiva. O conversor *chopper* é um exemplo, que converte diretamente uma tensão contínua e fixa em outra tensão contínua variável através da técnica de PWM.

##### b. Modulação por largura de pulso (PWM)

Os sinais modulados em largura de pulso se caracterizam por estabelecer uma relação entre as grandezas tensão e tempo, dado um sinal de tensão, o pulso resultante tem largura

(intervalo de tempo) que é função da amplitude de tal sinal. Quando associado este princípio ao tempo de fechamento ou abertura de uma chave em um circuito de potência, tem-se o princípio básico do comando e controle de conversores [15].

Em utilização com motores CC, a técnica de PWM busca controlar a velocidade destes motores usando sinais de onda quadradas em que seu valor varia através da flutuação do tempo em que um sinal é ligado (ciclo de trabalho).

## 2.2) Armazenamento

Se tratando dos elementos de armazenamento de energia, são comumente utilizados bancos de baterias e/ou supercapacitores (capacitores com grande volume de armazenamento de energia, utilizados particularmente para armazenamento suplementar, como na partida).

As baterias são dispositivos que armazenam a energia elétrica sob a forma de compostos eletroquímicos, sendo um dos componentes mais importantes, mas também um dos mais caros que compõe o arranjo de um veículo elétrico [16]. Existem diversos tipos de baterias utilizadas para a aplicação de um veículo elétrico, seja de grande ou pequeno porte, as mais comuns sendo: bateria de íon de lítio e bateria de chumbo-ácido.

Supercapacitores são dispositivos de armazenamento de energia com alta capacidade e baixa resistência interna, capazes de armazenar e entregar energia a taxas relativamente mais altas em comparação às baterias [17]. Um supercapacitor consiste em dois eletrodos, um eletrólito e um separador que isola os dois eletrodos eletricamente. Alguns benefícios dos supercapacitores quando comparados com outras fontes de armazenamento de energia são a longa vida útil, alta potência, ampla faixa térmica de operação e pequeno peso [18].

## 2.3) Motores

Quando comparado ao motor a combustão interna, o motor elétrico é aproximadamente três vezes mais eficiente, com metade do seu peso e volume, emitindo uma menor quantidade de ruído [19]. Em um veículo elétrico, o tipo de motor pode variar de acordo com o modo de armazenamento de energia ou o módulo de controle, mais comumente sendo utilizado motores de indução trifásico ou motores de corrente contínua.

Quando se fala de motores CC, existem duas categorias principais, que são: máquinas convencionais com escovas e máquinas de ímãs permanentes (sem escovas).

### a. Motores CC convencionais

Motores de corrente contínua convencionais possuem enrolamentos de armadura nos rotores. Os ímãs agem como enrolamentos de campo, posicionados no estator. Quando alimentado por uma fonte de corrente contínua, forma um campo magnético, alternado, responsável por gerar o torque eletromecânico do motor [20].

### b. Motores CC sem escovas

Os motores de corrente contínua sem escovas, também conhecidos como motor brushless (BLDC, Brushless DC) possuem os enrolamentos de armadura posicionados no estator e os ímãs de campo no rotor, ao contrário dos convencionais.

Os motores BLDC são motores do tipo síncrono, em que o campo magnético gerado pelo estator gira na mesma frequência que o campo magnético gerado pelo rotor. Estes motores são similares aos motores CA, porém são comutados eletronicamente, através de inversores de frequência, por exemplo, permitindo que possam ser alimentados por uma fonte de corrente contínua [20].

## C. Processo de Modelagem 3D em Projetos

A adoção de tecnologias da informação, como sistemas tridimensionais, tem sido uma solução valiosa para lidar com a sobrecarga de informações no processo de modelagem e gerenciamento de projetos. Essas tecnologias permitem que os projetistas equacionem fatores importantes como qualidade, prazo e custos de forma mais eficiente [21].

Os programas CAD (**Computer Aided Design**, em inglês) são programas computacionais que se destinam ao desenho de projetos. Existem muitas ferramentas disponíveis no mercado, para todos os tipos de soluções, com seus respectivos valores.

### 1) Software de modelagem

Para o presente artigo, o software escolhido foi o SolidWorks, desenvolvido em 1993 com o propósito de tornar softwares de CAD 3D mais acessíveis, e o SolidWorks Electrical, uma extensão do software base com foco em projetos de sistemas elétricos. Em 1997, foi adquirido pela Dassault Systèmes S.A., empresa que o detém até hoje. A Dassault Systèmes SolidWorks Corp. oferece diversas ferramentas de software 3D (produtos SolidWorks, como SolidWorks Electrical) que permitem a criação, simulação e gerenciamento de dados para diversas áreas do conhecimento, tais como elétrica e mecânica [22].

## III. METODOLOGIA

Este trabalho busca elaborar um modelo de protótipo inicial que facilite o desenvolvimento do projeto de um veículo elétrico de pequeno porte, estilo *kart*, a partir da revisão teórica necessária, além do projeto e estruturação do modelo em software de CAD 3D.

Inicialmente, foi realizada uma ampla pesquisa sobre projetos de protótipos de veículos elétricos existentes, buscando inspirações e compreensão do funcionamento de cada uma de suas peças e componentes, tanto mecânicas quanto elétricas.

Em seguida, foram analisadas as premissas para o desenvolvimento do projeto, além dos resultados a serem alcançados. Com isso, foi possível realizar os cálculos de dimensionamento tanto mecânicos quanto elétricos, principalmente partindo da premissa da existência de um motor BLDC.

Após isso, foi feita a modelagem 3D da parte mecânica do veículo, utilizando o software SolidWorks. Esta etapa consistiu na definição do layout geral, incluindo chassi, direção, rodas e demais componentes mecânicos. Após a modelagem mecânica, foi realizada a modelagem elétrica no SolidWorks Electrical, já tendo dimensionado e definido os componentes elétricos, como baterias e controlador.

Por fim, foi feita uma análise econômica para avaliar o custo de produção do protótipo, considerando os materiais utilizados, a mão de obra e demais gastos. Essa análise é

importante para garantir a viabilidade do projeto e orientar decisões futuras em relação ao desenvolvimento de novos protótipos. Durante todo o processo, foram tomadas as precauções quanto o correto funcionamento e integração entre os componentes elétricos e mecânicos.

#### IV. PROJETO E MODELAGEM MECÂNICA

O desenvolvimento mecânico é uma das etapas fundamentais na criação de qualquer veículo, uma vez que é responsável por dar forma e funcionalidade ao protótipo. Nesta seção do trabalho, serão apresentados os principais aspectos e desafios enfrentados na elaboração do projeto mecânico do protótipo de veículo elétrico, incluindo a seleção de materiais, dimensionamento de peças e montagem de componentes. Além disso, serão descritas as etapas de modelagem 3D da estrutura mecânica do veículo utilizando o software SolidWorks, bem como os cálculos para dimensionamento de materiais.

##### A. Desenvolvimento

Com base em uma pesquisa detalhada de modelos de protótipos de veículo, foi possível identificar os principais componentes que constituem esses tipos de veículos e entender suas características construtivas. Dentre as fontes de inspiração para o desenvolvimento do projeto, destacam-se os veículos do BAJA SAE BRASIL e FÓRMULA SAE BRASIL, que foram estudados a fim de entender as especificidades de cada modelo e, assim, estabelecer premissas para o projeto em questão.

Além da pesquisa, a existência de um motor BLDC 28V 35-80A, que será utilizado no protótipo real, auxiliou na definição dos requisitos. Conhecendo a sua potência (Watts) e o número de rotações por minuto (RPM), é possível calcular o torque (Newton por metro) e, por conseguinte, o peso máximo que o motor é capaz de tracionar. Assim, primeiramente calcula-se o torque a partir da Equação (1).

$$P = T \cdot W \quad (1)$$

Onde:

- P – Potência do motor, em Watts.
- T – Torque do motor, em Newton por metro.
- W – Velocidade angular, em rad/s.

A potência será de 1260W, a velocidade angular é de 62,83 rad/s, sabendo que o motor possui 600 RPM. Portanto, o torque do motor equivale a 20,05 N.m. O próximo passo foi definir a relação de transmissão de polias, em que se utiliza a Equação (2).

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2)$$

Onde:

- D<sub>1</sub> – Diâmetro da polia 1, acoplada ao motor, em metros.
- D<sub>2</sub> – Diâmetro da polia 2, acoplada ao eixo do veículo, em metros.
- T<sub>1</sub> – Torque exercido pela polia 1, em N.m.
- T<sub>2</sub> – Torque exercido pela polia 2, em N.m.

Dimensionando a polia 1 para ter o diâmetro de 6cm e a polia 2, um diâmetro de 16cm, o torque exercido pela segunda polia é de 53,46 N.m. Em seguida, calcula-se o momento de força em Newtons, utilizando a Equação (3).

$$F = \frac{T_2}{r} \quad (3)$$

Onde:

- F – Força aplicada, em Newton.
- T<sub>2</sub> – Torque exercido pela polia 2, em Newton por metro.
- r – Distância de F até um ponto fixo, em metros.

Neste caso, o valor de r é igual ao raio da segunda polia, considerando um movimento linear para a força aplicada, portanto, equivalente a 0,08 metros. Assim, a Força aplicada é igual a 668,33 N. Por fim, para calcular o peso que o motor é capaz de tracionar, utilizamos a 2ª Lei de Newton através da Equação (4).

$$F = m \cdot a \quad (4)$$

Onde:

- F – Força aplicada, em Newton.
- m – Massa do corpo em que as forças atuam, em kg.
- a – Aceleração adquirida, em metros por segundo por segundo.

Supondo uma aceleração de 0 a 40km/h em 5 segundos, tem-se uma aceleração de 2,22 m/s<sup>2</sup>. Isolando o termo m, substituindo o termo F, obtemos um valor de massa equivalente a 301,05kg. Todos os cálculos foram realizados considerando um cenário ideal, onde não existem perdas e o motor em funcionamento nominal.

A partir de todo o exposto, foram definidos os requisitos apresentados na Tabela III.

TABELA III

#### Requisitos primários para o projeto

Requisito	Unidade
Peso máximo (chassi, componentes, peças e piloto)	300 (kg)
Dimensões máximas da estrutura (AxLxC)	1x1x2 (m)

Por se tratar de um protótipo de um VEB, é importante analisar quais serão os sistemas que farão parte deste veículo. Devido a menor complexidade e por não se tratar de um protótipo de alto desempenho, como os das categorias citadas anteriormente, os sistemas utilizados neste projeto serão: sistema do motor, sistema de direção e transmissão, e sistema de freios. Além disso, sendo um veículo puramente elétrico, sabe-se de antemão que estarão presentes um motor elétrico, um banco de baterias e um módulo de controle.

Diante dessas informações, foi possível constatar quais as principais peças que irão compor o protótipo, categorizando-as através dos seus sistemas, como mostrado na Figura 4.



Fig. 4. Peças para cada sistema do protótipo

Com os requisitos da Tabela III e a lista dos materiais fundamentais da Figura 4, como próximo passo, foi definido

o tipo de material a ser usado no esqueleto do chassi. Para isso, foram escolhidos tubos de metal oco de aço galvanizado, podendo ser substituído pelo aço inox se necessário, devido a suas proteções às influências do tempo, como a oxidação.

Além dos tubos para o esqueleto, foi analisada a utilização de uma chapa de aço como assoalho, para comportar os demais componentes e exercer sustentação em toda a estrutura. Para essa chapa, aço galvanizado ou aço inox com uma espessura de 0,6 mm é o ideal, considerando a alta resistência mecânica e a baixa influência no peso da estrutura.

O design foi desenvolvido a partir do encaixe dos principais componentes, como apresentada na Figura 5.

Os protótipos desenvolvidos para as competições BAJA e FÓRMULA utilizam o tubo redondo oco para a sua estrutura, buscando menor atrito com o vento e mitigar possíveis danos causados nas conexões soldadas em altas velocidades. Neste caso, por se tratar de um protótipo de menor complexidade que não busca atingir altas velocidades, será utilizado o tubo quadrado oco de aço galvanizado ou inox, com dimensões de 30x30(mm), espessura de 1,2mm, analisando também as vantagens econômicas deste material.

A chapa de aço foi dividida em duas, uma maior e outra menor, onde o arranjo delas é totalmente dependente da disposição dos componentes e das principais conexões dos tubos, garantindo uma maior sustentação nessas ligas.

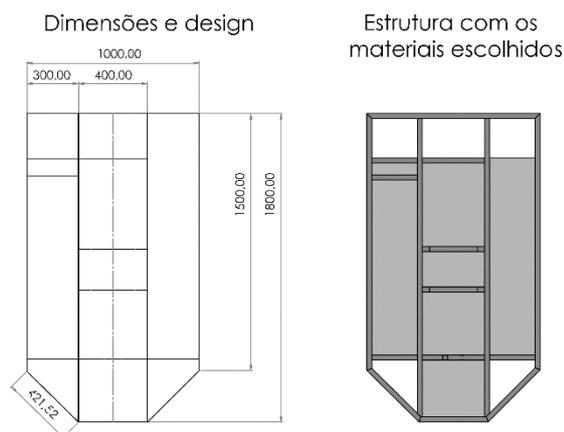


Fig. 5. Dimensões e design do chassi

Uma vez tendo o design, as dimensões e o tipo de material que será utilizado, é possível calcular o peso da estrutura em quilogramas. Para os tubos metálicos, utiliza-se a Equação (5) apresentada a seguir.

$$P_{ttotal} = \frac{P_{tabela} \cdot C_{total}}{C_{tabela}} \quad (5)$$

Onde:

$P_{ttotal}$  - Peso total do tubo na estrutura, em kg.

$P_{tabela}$  - Peso do tubo por comprimento, disponível em tabela do fabricante, em kg.

$C_{total}$  - Comprimento total dos tubos da estrutura sem recortes, em metros.

$C_{tabela}$  - Comprimento padrão definido pelo fabricante, em metros.

De acordo com a tabela do fabricante (ANEXO A), o peso para 6 metros de tubo quadrado 30x30x1,2(mm) é de 6,56kg. A partir do design e dimensões, sabe-se que o comprimento total dos tubos da estrutura, sem recortes, é equivalente a 11,6 metros. Portanto, aplicando estes valores na Equação (5), o  $P_{ttotal}$  é de aproximadamente 12,68kg.

Para as chapas de aço, divididas em duas com dimensões distintas, em que:

- Chapa 1: 1200x1020(mm)
- Chapa 2: 420x370(mm)

Utiliza-se a Equação (6) para definir o seu peso em kg, apresentada abaixo.

$$P_{ctotal} = L_{chapa} \cdot C_{chapa} \cdot E_{chapa} \cdot \rho \quad (6)$$

Onde:

$P_{ctotal}$  - Peso total da chapa na estrutura, em kg.

$L_{chapa}$  - Largura da chapa de aço, em mm.

$C_{chapa}$  - Comprimento da chapa de aço, em mm.

$E_{chapa}$  - Espessura da chapa de aço, em mm.

$\rho$  - Peso específico do aço, em kg/m<sup>3</sup>.

Para conhecer o peso total que as chapas irão representar, é necessário aplicar a Equação (6) duas vezes, para a chapa 1 e a chapa 2. O peso específico do aço é equivalente a 7850kg/m<sup>3</sup>, assim, convertendo para mm<sup>3</sup>, o valor é igual a 0,00000785kg/mm<sup>3</sup>. Substituindo na equação pelos valores das dimensões da chapa 1, temos que o seu peso é aproximadamente 5,76kg. Efetuando os mesmos passos para a chapa 2, o seu peso é 0,73kg. Portanto, o peso total das chapas de aço utilizadas é de 6,5kg.

Assim, o peso total do chassi é de 19,18kg. Antes de definir o peso do restante dos componentes e até estimar um peso para o piloto, foi realizada a montagem dos sistemas do motor, direção, transmissão e freios do protótipo no software, além da adição de alguns outros componentes indispensáveis, como o banco e os parafusos.

Ao contrário da estrutura que foi desenhada do zero, a maioria das peças foi adicionada a partir de bibliotecas de arquivos CAD 3D ou de empresas que fornecem esse tipo de material, restando o trabalho de encontrar componentes compatíveis e que sejam viáveis de se adquirir no mercado.

A partir da Figura 6, é possível observar o chassi e seus devidos componentes, sinalizados a partir de cada um dos sistemas que fazem parte deste protótipo. Em alguns casos, houveram peças adicionais para complementar alguma função em determinado sistema, como o botão para acionamento do motor e potenciômetro para controle da velocidade, localizados a frente do volante.

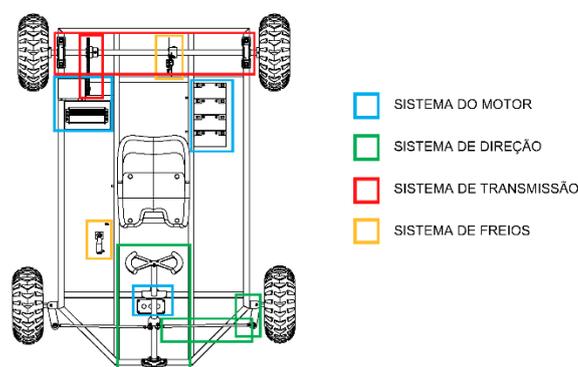


Fig. 6. Protótipo e seus sistemas

Em conformidade com os requisitos definidos na tabela III, o conjunto de rodas/pneus utilizado foi escolhido devido a capacidade de suportar até 340kg, acima do limite definido, garantindo segurança na sustentação.

Concomitantemente a busca das peças e componentes que foram adicionados, foi realizada uma lista de materiais e consequentemente uma pesquisa de cada um desses itens no mercado, afim de coletar informações de peso, dimensão e outras características. Portanto, a partir desta lista foi contabilizado o peso de todas as peças, apresentado na Tabela IV abaixo.

**TABELA IV**  
**Peso dos componentes do protótipo**

Item	Quantidade (un.)	Peso un. (kg)	Peso total (kg)
Banco Go Kart	1	1	1
Bateria 12V, 18Ah	4	5,4	21,6
Controlador 1500W	1	1	1
Motor BLDC	1	7,5	7,5
Pneu completo 3.5-8	4	11,9	47,6
Sist. de direção	-	-	4
Sist. de transmissão	-	-	4
Sist. de freios	-	-	1

Com os dados da Tabela IV, é possível definir que o peso das peças que compõem o protótipo equivale a 87,7kg, se mantendo em um bom valor considerando os requisitos e a escolha do conjunto de rodas/pneus.

## B. Resultados

A partir dos valores calculados anteriormente nas equações (5) e (6), em que o peso total da estrutura é equivalente a 19,18kg, e da Tabela IV em que o peso dos componentes do arranjo do protótipo é de 87,7kg, tem-se o peso total do veículo em aproximadamente 107kg. Supondo que o piloto que irá conduzir o veículo tenha 100kg, o peso ainda sim estaria em concordância com os requisitos definidos inicialmente no projeto.

Além do requisito peso, o requisito de dimensão também foi contemplado, uma vez que as dimensões da estrutura são de 0,8x1x1,8(m). Dessa maneira, o projeto mecânico do protótipo está concluído.

Após esta etapa de desenvolvimento e validação da modelagem 3D com o projeto, foram adicionadas texturas e cores ao modelo para tentar aproximar o protótipo da realidade, facilitando a visualização de uma versão física do protótipo, como se pode verificar na Figura 7.

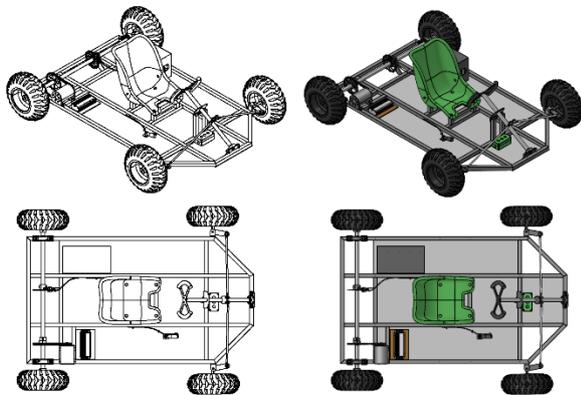


Fig. 7. Versão final do protótipo

## V. PROJETO E MODELAGEM ELÉTRICA

O projeto elétrico ocorreu de maneira concomitante ao projeto mecânico, uma vez que um depende do outro em

diversos aspectos, principalmente para a definição dos requisitos que guiaram o projeto e dimensionamento dos componentes que integram o arranjo do veículo.

### A. Desenvolvimento

Como citado anteriormente, o ponto inicial para o dimensionamento do projeto foi, além da pesquisa, a existência de um motor BLDC. A partir de medições e testes de bancada pode-se aferir algumas grandezas, elétricas e mecânicas, deste motor. Para dimensionar este projeto, utilizou-se três dessas informações:

- Tensão nominal: 28V;
- RPM: 600;
- Número de polos: 6 pares;

Para garantir os 28V de tensão nominal, o motor pode ser ligado a uma fonte de alimentação de 28V com a ligação das bobinas em triângulo, ou em 48V com a ligação das bobinas em estrela. Para todos os cálculos, foi considerado os valores nominais de funcionamento, ou seja, o motor e demais componentes funcionando em regime permanente. Dessa maneira, é possível calcular as principais grandezas elétricas como resistência (Ohms), corrente (A) e potência (W). Primeiramente, calculou-se a frequência em que o sistema estará submetido quando em regime permanente, através da equação (7).

$$N = \frac{120.f}{p} \quad (7)$$

Onde:

N – Número de rotações por minuto, dado em RPM.

f – Frequência, em Hertz.

p – Número de polos presentes no motor, em unidades.

Isolando o termo f e substituindo os demais, obtém-se uma frequência de 30Hz quando em regime permanente. Com o auxílio de um multímetro, foi medida a resistência e indutância das bobinas do motor, em que os valores encontrados foram de 0,4 ohms e 0,417mH, respectivamente. O próximo passo foi calcular a impedância equivalente, dado por Z. No regime da frequência, é possível converter o valor da indutância de Henry para Ohm e, posteriormente, encontrar o módulo através da equação (8).

$$|Z_{equivalente}|^2 = |R|^2 + |X_L|^2 \quad (8)$$

Onde:

Z<sub>equivalente</sub> – Impedância total equivalente, em Ohms.

R – Resistência elétrica, parte real, em Ohms.

X<sub>L</sub> – Indutância elétrica, parte imaginária, em Ohms.

Através da medição e alguns cálculos, obteve-se que Z = 0,4 + j0,0786 Ohms. Aplicando esses valores na equação (8), temos que a impedância equivalente é aproximadamente 0,407 Ohms. Com o valor da impedância equivalente e da tensão nominal, é possível calcular tanto a corrente quanto a potência do sistema, utilizando as equações (9) e (10).

$$I = \frac{V_{nominal}}{Z_{equivalente}} \quad (9)$$

$$P = \frac{(V_{nominal})^2}{Z_{equivalente}} \quad (10)$$

Onde:

V<sub>nominal</sub> – Tensão nominal de funcionamento, em Volts.

I – Corrente elétrica nominal, em Amperes.

P – Potência elétrica, em Watts.

Dessa maneira, os valores alcançados para corrente e potência são, respectivamente, 68,68A e 1923,26W.

Buscando atender estes valores de tensão, corrente e potência, foi realizada uma pesquisa para obter um controlador compatível com o motor BLDC e que possuísse essas mesmas características. Apesar de vários modelos existentes, os mais compatíveis se limitavam a 48V, 45A e 1500-2000W. Considerando a escolha de um desses modelos com a corrente limitada em 45A, calculou-se novamente qual seria a potência que o motor alcançaria, desta vez em novas condições. Para isso, isolou-se o termo Z na equação (9) e aplicou na equação (10). Portanto, o novo valor para a potência é de 1260W.

Para o novo valor de potência, foi escolhido o controlador universal para motor BLDC 48V, 45A, 1500W. Este modelo é utilizado em motocicletas elétricas ou demais veículos elétricos de pequeno porte, principalmente os desenvolvidos por entusiastas da área, com fabricação amadora.

Possuindo o motor e o controlador, o último componente principal a ser dimensionado é o banco de baterias. A escolha do tipo de bateria, principalmente sua química, é uma das partes mais importantes deste dimensionamento, pois suas propriedades energéticas variam de acordo com a sua composição. Apesar das baterias de íon-lítio terem alta densidade de potência e energia, sendo as mais comuns em aplicações de veículos elétricos, as baterias de chumbo-ácido apresentam maior segurança para o manuseio e não são necessárias tantas medidas de segurança e arrefecimento.

Outro fator importante é o preço. Normalmente, quando se há maior densidade energética, mais cara é a bateria, seja célula individual ou conjunto, também chamado de *pack*. Portanto, considerando esses fatores e até a facilidade de dimensionamento, foram escolhidas as baterias de chumbo-ácido para utilização no protótipo.

Buscando alcançar os parâmetros de tensão e corrente, a primeira bateria analisada foi a bateria de chumbo-ácido selada de 12V 18Ah, utilizada em nobreaks, motocicletas e até jet skis. Almejando alcançar uma alimentação em 28V, tem-se duas possíveis configurações para o banco de baterias, configuração (1) e (2), representadas na Figura 8.

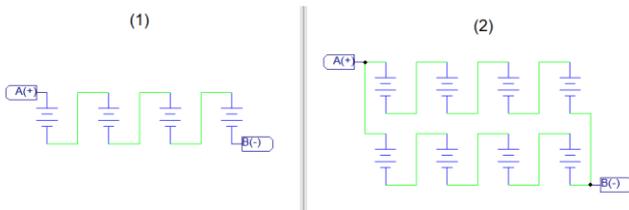


Fig. 8. Possíveis configurações do banco de baterias

A primeira configuração (1) possui quatro baterias, todas ligadas em série, sendo uma configuração 4s. Quando baterias são associadas em série, busca-se o aumento da tensão para alimentar determinada carga. Já ao liga-las em paralelo, procura-se o aumento da capacidade ou corrente desta bateria. Então, ligando-as em série temos uma tensão total de 48V, porém sua capacidade se mantém em 18Ah. Considerando que o motor irá solicitar 45A, isso significa dizer que a bateria irá fornecer a tensão total em um intervalo de 24 minutos (40% de 1 hora).

A segunda configuração (2), 4s2p, possui o mesmo valor de tensão, porém o intervalo de tempo que as baterias

fornecem a tensão total é maior. Neste caso, a capacidade de 18Ah é dobrada, fazendo com que o intervalo de fornecimento da tensão se estenda para 48 minutos. Ambas as configurações exigem que o motor seja acionado com a ligação das bobinas em estrela.

Portanto, foi validado que este tipo de bateria contempla as necessidades do projeto e foi escolhida a configuração (1), opção que melhor se encaixa nos requisitos de segurança e preço. Caso haja a necessidade de maior tempo de funcionamento, é possível fazer a atualização do *pack* adquirindo mais baterias.

Determinado os três principais componentes elétricos para o protótipo, busca-se definir os condutores elétricos que irão conectá-los. Para isso, com o auxílio da ABNT NBR 5410, foi definido o material isolante e condutor do cabo, além do tipo de instalação. Para uma corrente em regime permanente de 45A, é necessário efetuar uma correção a partir de dois fatores: Fator de Correção por Temperatura (FCT) e Fator de Correção por Agrupamento (FCA). Então, utiliza-se a equação (11).

$$I_{corrigida} = \frac{I}{FCT \cdot FCA} \tag{11}$$

Onde:

$I_{corrigida}$  – Corrente de projeto corrigida, em Amperes.

I – Corrente nominal do projeto, em Amperes.

FCT – Fator de Correção por Temperatura, tabela NBR 5410.

FCA – Fator de Correção por Agrupamento, tabela NBR 5410.

Para um condutor de PVC, a uma temperatura ambiente de 35°C, tem-se um FCT igual a 0,94. Para FCA, o valor é 1. Portanto, substituindo na equação (11), a corrente de projeto corrigida é de aproximadamente 47,9A. Portanto, a partir deste valor pode-se avaliar na tabela 36 da norma que a seção nominal do cabo deverá ser de 10mm<sup>2</sup>, como apresentado na Figura 9.

Condutores: cobre e alumínio  
Isolação: PVC  
Temperatura no condutor: 70°C  
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67

Fig. 9. Tabela 36 da norma ABNT NBR 5410

Como método auxiliar, calcula-se a queda de tensão nos condutores ao longo do trajeto que estes irão percorrer no veículo. A Figura 10 apresenta as distâncias aproximadas dos condutores, para utilização nos cálculos.

Portanto, a partir destas distâncias, calculamos a resistência equivalente do cabo pela equação (12) e, posteriormente, qual a queda de tensão a partir da Lei de Ohm.

$$R_{cabo} = \frac{L \cdot N_{condutores} \cdot \rho_{Cu,30°C}}{S} \tag{12}$$

Onde:

$R_{cabo}$  – Resistência elétrica do cabo, em Ohms.

L – Comprimento do cabo, em metros.

$N_{condutores}$  – Número de condutores carregados, em unidades.

$\rho_{Cu,30°C}$  – Resistividade elétrica do cobre, a temperatura ambiente de 30°C, em Ohms.mm<sup>2</sup>m.

S – Seção nominal do cabo, em mm<sup>2</sup>.

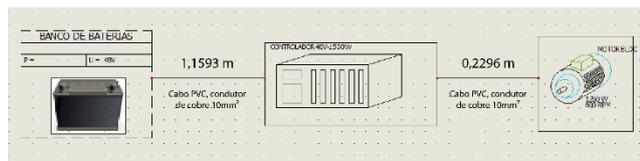


Fig. 10. Distâncias dos condutores do protótipo

Assim, conhecendo a resistividade do cobre que é igual a  $0,0178742 \text{ ohm}\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}$ , a seção nominal definida anteriormente e que o número de condutores carregados é equivalente a 2, a resistência elétrica para o trecho baterias-controlador, cabo amarelo na Figura 11, é igual a  $3,787\text{E}-3 \text{ Ohms}$ . Para o segundo trecho, cabo vermelho, a resistência é de  $0,82\text{E}-3 \text{ Ohms}$ .

Utilizando a Lei de Ohm, para uma corrente de 45A, obtemos as tensões nos condutores do trecho 1 e trecho 2, que são 0,17V e 0,036V, respectivamente. Assim, se temos uma tensão de 24V sendo fornecida pelas baterias, a queda de tensão no trecho 1 é de 0,71% e no trecho 2 é de 0,16%. Portanto, a tensão final que é fornecida ao motor é minimamente afetada pela impedância do condutor, validando o método da ampacidade para a escolha deste componente.

Para concluir a etapa de projeto elétrico, foi necessário avaliar o controlador universal escolhido mais detalhadamente. Este dispositivo possui internamente um circuito eletrônico que realiza a conversão CC/CC, faz o acionamento do motor, controle de velocidade, além da frenagem e outras funções secundárias. Então, foi idealizada a utilização de botões e outros componentes para acionamento ou controle externo dessas ações.

Dentre todas as funções, as principais são o acionamento do motor e o controle de velocidade, as quais serão controladas de maneira externa através de um botão de impulso e um potenciômetro, respectivamente. Estes componentes serão localizados próximo ao volante, então a uma distância considerável do controlador. Porém, mesmo que o cabo que irá conectá-los seja longo, são componentes que apenas efetuam comandos no controlador, não havendo problemas de alimentação ou quedas de tensão, por exemplo. Desta maneira, é suficiente compreender a existência destes componentes.

Portanto, tendo dimensionado e definido todos os componentes principais, foi realizada a modelagem destes em software para integração de ambos os projetos, mecânico e elétrico. O primeiro passo foi identificar os componentes e suas respectivas conexões em uma interface de esquema elétrico 2D, como mostra a Figura 11. Neste processo, foi necessário inserir os componentes e suas especificações de maneira manual, pois não existiam na biblioteca nativa do software.

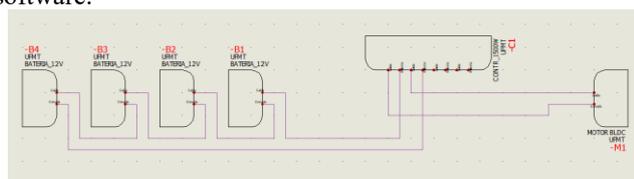


Fig. 11. Baterias, controlador e motor em esquema 2D

Em seguida, é feito o vínculo da peça na biblioteca 2D com a peça 3D utilizada na modelagem mecânica, identificando

seus terminais para que o software compreenda onde as conexões devem ser realizadas naquele equipamento. Dessa maneira, já é possível gerar os modelos 3D do projeto elétrico realizado.

## B. Resultados

Com os cálculos e dimensionamentos dos componentes finalizados, além do esquema 2D realizado em concordância com o projeto e a modelagem mecânica, foram gerados os diagramas 3D das conexões elétricas, apresentados na Figura 12. No caso (1), os cabos percorrem o caminho definido pelo software, enquanto no caso (2), estes percorrem o caminho que fará sentido com o projeto mecânico definido pelo usuário.

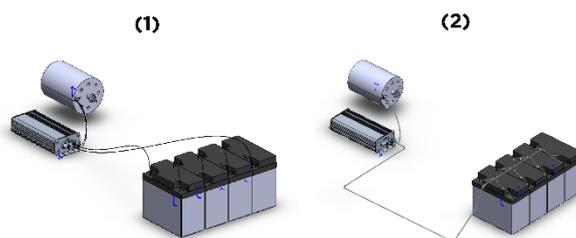


Fig. 12. Baterias, controlador e motor em esquema 3D

Após validar o arranjo das conexões, foi feita a união do projeto mecânico e elétrico, apresentado na Figura 13, encerrando as etapas de projeto e modelagem deste protótipo de veículo elétrico.

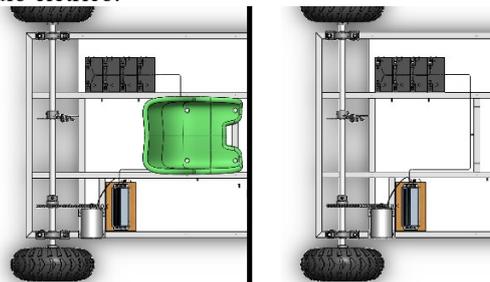


Fig. 13. União da modelagem mecânica e elétrica em software

## VI. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi alcançado com sucesso ao projetar e modelar as partes mecânica e elétrica deste protótipo. Ao realizar pesquisas detalhadas sobre modelos existentes e estabelecer requisitos iniciais dependentes dessas pesquisas e da existência de um motor, foi possível criar um protótipo funcional que atende essas especificações.

Durante o desenvolvimento, a união dos softwares de modelagem com o conhecimento teórico e técnico foi fundamental na concepção do projeto. Através destes programas, foi possível criar representações virtuais detalhadas que permitiram uma análise minuciosa do projeto, identificando áreas de melhoria, contribuindo para a eficiência e funcionalidade do protótipo.

Por fim, este trabalho demonstrou os benefícios da modelagem 2D e 3D na elaboração de um protótipo de veículo elétrico de pequeno porte. A aplicação dessas técnicas proporcionou uma visualização aprimorada do projeto, permitindo uma compreensão mais clara de seu funcionamento e interação entre os componentes. Espera-se que esses resultados incentivem a utilização contínua desta

abordagem na concepção de futuros protótipos de veículos elétricos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2021). *Acordo de Paris*. Acessado em Março de 2023, em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/acordo-de-paris>.
- [2] C. H. R. Carvalho (2011). *Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Urbano*. Acessado em Março de 2023, em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5574>.
- [3] I. M. C. P. Soares (2012). *A Mobilidade Elétrica e a Sociedade do Futuro*. Acessado em Março de 2023, em: <https://run.unl.pt/handle/10362/7889>.
- [4] The International Council on Clean Transportation (2021). *A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars*. Acessado em Março de 2023, em: <https://theicct.org/publication/a-global-comparison-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-combustion-engine-and-electric-passenger-cars/>.
- [5] International Energy Agency (2023). *Global EV Outlook 2023*. Acessado em Março de 2023, em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>.
- [6] B. H. R. Castro, D. C. Barros, S. G. Veiga (2013). *Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global*. Acessado em Março de 2023, em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1511>.
- [7] B. H. R. Castro, T. T. Ferreira (2010). *Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades*. Acessado em Março de 2023, em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1764>.
- [8] J. Martins, F. P. Brito (2011). *Carros Elétricos*. Acessado em Março de 2023, em: <https://hdl.handle.net/1822/15746>.
- [9] C. C. Chan, A. Bouscayrol, K. Chen, “Electric, Hybrid and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 2, pp. 589 – 598, Fevereiro 2010.
- [10] G. Barreto (1986). *Veículo Elétrico a Bateria: Contribuições a análise de seu desempenho e seu projeto*. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas.
- [11] E. V. Batista (2011). *Projeto de Conjunto de Tração Híbrida para o Veículo VW 8.150*. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves.
- [12] L. Boulon, M. C. Pera, D. Hissel, A. Bouscayrol, Ph. Delarue (2007). *Energetic Macroscopic Representation of a Fuel Cell-Supercapacitor System*. Acessado em Março de 2023, em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4544140>.
- [13] L. Streit, M. Kubik, J. Holecek, M. Horan (2011). Concept of Electric Kart with LiFeYPO<sub>4</sub> Batteries. Acessado em Março de 2023, em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6049138>.
- [14] M. Mendonça, R. H. C. Palácios, F. A. S. Junior, W. F. Godoy, I. R. Chrun, F. R. Milanez, J. A. Fabri, R. Breganon, “Conversores Elétricos: Fundamentos, Conceitos e Exemplos”, *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, no. 2, pp. 20311-20325, Fevereiro 2021.
- [15] R. N. C. Alves (1998). *Análise e implementação de técnicas de Modulação em Largura de Pulso para uso em inversores trifásicos*. Dissertação de doutorado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal da Paraíba.
- [16] J. L. A. Magalhães, F. J. Nogueira (2020). *Carros Elétricos e Uso Eficiente de Baterias*. Acessado em Março de 2023, em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/2717>.
- [17] S. R. Zaharaddeen, C. Subramani, S. S. Dash, “A Brief Review on Electrode Materials for Supercapacitor”, *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 11, pp. 10628-10643, Novembro 2016.
- [18] Y. Wang, Z. Shi, Y. Huang, Y. Ma, C. Wang, M. Chen, Y. Chen, “Supercapacitor Devices Based on Graphene Materials”, *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 113, pp. 13103-13107, Julho 2009.
- [19] F. Cousseau (2015). *Estudo e Implementação de um Projeto Elétrico Básico de um Kart Movido a Tração Puramente Elétrica*. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade de Caxias do Sul.
- [20] P. C. Krause, O. Wasynczuk, S. D. Sudhoff, *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, IEEE Press, 2002.
- [21] L. A. Nascimento, E. T. Santos, “A indústria da construção na era da informação”, *ANTAC ambiente construído*, vol. 3, no. 1, pp. 69-81, Março 2003.
- [22] S. Oanes (2021). The History of Solidworks. Acessado em Março de 2023, em: <https://www.goengineer.com/blog/history-of-solidworks>.

## ANEXO

## ANEXO A – Tabela de pesos e medidas de tubos de aço, Fabricante GEMIN

TABELAS DE PESOS E MEDIDAS DE TUBOS DE AÇO																		
TUBOS REDONDOS																		
ESPESSURA (mm) – PESO (BARRA DE 6 METROS)																		
DIÂMETRO EXTERNO (pol)	DIÂMETRO EXTERNO (mm)	0,90	1,20	1,50	1,90	2,00	2,25	2,65	3,00	3,35	3,75	4,25	4,75	5,00	5,30	5,60	6,30	7,00
3/8"	9,53	1,15	1,48	1,79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1/2"	12,70	1,58	2,05	2,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5/8"	15,88	2,00	2,61	3,19	3,93	4,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3/4"	19,05	2,42	3,17	3,90	4,83	5,05	5,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13/16"	20,70	2,64	3,47	4,27	5,29	5,54	6,15	7,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7/8"	22,23	2,84	3,74	4,60	5,72	5,99	6,65	7,68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1"	25,40	3,27	4,30	5,31	6,61	6,93	7,71	8,93	9,95	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.1/16"	26,70	—	—	5,60	6,98	7,31	8,14	9,43	10,52	11,58	12,74	—	—	—	—	—	—	—
1.1/8"	28,60	3,69	4,87	6,01	7,51	7,87	8,77	10,18	11,37	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.1/4"	31,75	4,11	5,43	6,72	8,40	8,81	9,83	11,41	12,77	14,08	15,54	—	—	—	—	—	—	—
1.5/16"	33,70	—	—	7,15	8,94	9,38	10,47	12,18	13,63	15,05	16,62	18,52	20,35	21,24	22,28	23,29	—	—
1.3/8"	35,00	4,55	6,01	7,44	9,31	9,77	10,91	12,69	14,21	15,69	—	—	—	—	—	—	—	—
1.1/2"	38,10	4,96	6,56	8,13	10,18	10,69	11,94	13,90	15,59	17,23	19,06	—	—	—	—	—	—	—
1.5/8"	41,27	5,38	7,12	8,83	11,07	11,62	12,99	15,15	16,99	18,80	20,82	23,28	25,67	—	—	—	—	—
1.11/16"	42,20	—	—	9,04	11,33	11,90	13,30	15,51	17,40	19,26	21,34	23,87	26,32	27,53	28,94	30,33	—	—
1.3/4"	44,45	5,80	7,68	9,54	11,97	12,57	14,05	16,39	18,40	20,38	22,59	25,28	27,91	29,19	—	—	—	—
1.7/8"	47,60	6,22	8,24	10,24	12,85	13,50	15,10	17,63	19,80	21,94	24,34	27,26	30,12	—	—	—	—	—
1.29/32"	48,30	—	—	10,39	13,05	13,70	15,33	17,90	20,11	22,28	24,72	27,70	30,61	32,04	33,73	35,39	—	—
2"	50,80	6,65	8,81	10,95	13,75	14,45	16,17	18,88	21,22	23,52	26,11	29,28	32,37	33,89	35,68	37,46	41,49	—
2.1/4"	57,15	—	9,94	12,35	15,54	16,33	18,28	21,37	24,04	26,67	29,63	33,27	36,83	—	—	—	—	—
2.3/8"	60,30	—	10,50	13,06	16,42	17,26	19,33	22,61	25,44	28,23	31,38	35,25	39,05	40,92	43,14	45,33	50,34	55,21
2.1/2"	63,50	—	11,07	13,77	17,32	18,20	20,40	23,86	26,86	29,82	33,16	37,27	41,30	43,28	45,65	47,98	53,33	58,53
2.3/4"	70,00	—	12,22	15,21	19,15	20,13	22,56	26,41	29,75	33,04	36,76	41,35	45,87	48,09	50,74	53,37	59,39	65,26
2.7/8"	73,00	—	—	—	—	21,02	23,55	27,59	31,07	34,53	38,43	43,23	47,97	50,31	53,10	55,85	62,18	68,37
3"	76,20	—	13,32	16,58	20,89	21,96	24,62	28,84	32,50	36,11	40,20	45,25	50,22	52,68	55,61	58,50	65,16	71,68
3.1/4"	82,55	—	—	17,99	22,68	23,84	26,74	31,33	35,31	39,26	43,73	49,24	54,68	57,38	60,59	63,77	71,08	78,25
3.1/2"	88,90	—	—	19,40	24,46	25,72	28,85	33,82	38,13	42,41	47,25	53,24	59,15	62,08	65,56	69,03	77,00	84,83
4"	101,60	—	17,83	22,22	28,03	29,48	33,08	38,80	43,77	48,71	54,30	61,22	68,07	71,47	75,52	79,55	88,84	97,99
4.1/2"	114,30	—	—	—	31,60	33,24	37,31	43,78	49,41	55,00	61,35	69,21	77,00	80,87	85,48	90,07	100,68	111,14
5"	127,00	—	—	—	—	37,00	41,54	48,76	55,05	61,29	68,39	77,20	85,93	90,26	95,44	100,60	112,52	124,30
5.1/2"	139,70	—	—	—	—	40,75	45,76	53,74	60,69	67,59	75,44	85,18	94,85	99,66	105,40	111,12	124,36	137,45
6"	152,40	—	—	—	—	44,51	49,99	58,72	66,32	73,89	82,49	93,17	103,78	109,06	115,36	121,65	136,20	150,61
6.1/2"	165,10	—	—	—	—	48,27	54,22	63,70	71,96	80,18	89,53	101,16	112,71	118,45	125,32	132,17	148,04	163,76
6.5/8"	168,30	—	—	—	—	—	—	64,96	73,38	81,77	91,31	103,17	114,95	120,82	127,83	134,82	151,02	167,08