



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO –
Engenharia Mecânica
Disciplina MEC041 - Trabalho Final de
Graduação II**



**ACESSÓRIO PARA AUTOPROPULSÃO DE UMA CADEIRA DE
RODAS CONVENCIONAL**

Autor 1 – Henrique Lisboa Schnur
151979@upf.br

Autor 2 – Prof. Dr. Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar / Projeto de Engenharia
ipar@upf.br

Comissão Examinadora – Dr. Leandro Dóro Tagliari, Ms. Auro Candido Marcolan

RESUMO

Com o crescente envelhecimento da população mundial e aumento da expectativa de vida de pessoas com necessidades especiais, torna-se fundamental o estudo de equipamentos que proporcionem bem-estar e autonomia à essa população. As cadeiras de rodas são amplamente utilizadas por idosos e pessoas com algum tipo de deficiência, entretanto, o modelo manual necessita de força muscular do próprio usuário ou dependência de um cuidador para realizá-lo. Em contrapartida, as cadeiras de rodas elétricas comercializadas são pesadas e com maior valor de mercado, muitas vezes inacessível a todos. Desse modo, o projeto consiste em converter uma cadeira de rodas convencional em elétrica, com o acoplamento de uma roda motorizada utilizando uma parafusadeira a bateria, a fim de produzir o torque necessário para a movimentação do conjunto. O objetivo esperado é converter uma cadeira de rodas manual em elétrica com um custo menor que as encontradas no mercado. O projeto foi desenvolvido em etapas sequenciais, iniciando com um entendimento dos modelos de cadeiras de rodas existentes, uma pesquisa de preço dos modelos disponíveis no mercado, execução dos cálculos e desenhos técnicos e finalmente a construção e testes para determinar a viabilidade do equipamento.

Palavras-chave: Cadeira de rodas manual; Módulo cadeira elétrica; Roda motorizada; Acoplamento motorizado; Tração elétrica.

1 INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece que a deficiência é uma condição humana. Naturalmente todas as pessoas serão prejudicadas em algum momento da vida e até a sua velhice sofrerão alguma dificuldade motora. Para superar as dificuldades da deficiência, ações são necessárias e variam dependendo dos múltiplos contextos inseridos. (WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2011)

Segundo a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), em 2019, cerca de 7,8 milhões de pessoas com 2 anos ou mais eram portadores de deficiência física dos membros inferiores e 5,5 milhões dos membros superiores. Somado a isso, o país conta com 20,5 milhões de pessoas com mais de 60 anos (IBGE, 2021). A partir disso, torna-se evidente o expressivo número de pessoas com dificuldade de locomoção no Brasil, gerando a necessidade de promover medidas de acessibilidade a essa população.

Nesse sentido, muitas pessoas dependem de cadeira de rodas para sua locomoção. A cadeira de rodas é um instrumento que permite o deslocamento de pessoas com impossibilidade definitiva ou temporária de locomoção, representando a principal tecnologia de auxílio para esses indivíduos (MEDINA; COELHO, 2007). Para Lianza (2009), pode-se subdividir os tipos de cadeira de rodas em quatro grupos a partir de suas formas estruturais. São elas: cadeira de rodas de armação rígida, cadeira de rodas dobrável, cadeira de rodas motorizada e cadeira de rodas para uso em esportes (LIANZA; SPOSITO, 1994).

O modelo mais comumente utilizado é a cadeira de rodas manual. Entretanto, usuários relatam que esses equipamentos são pesados e difíceis de manobrar, o que aliado ao fato de que os membros superiores não são preparados naturalmente para a alta taxa de esforço e de repetitividade dos movimentos tornam esse modelo de baixa eficiência mecânica (SAGAWA JÚNIOR et al., 2012).

São evidentes as dificuldades encontradas pelos portadores de deficiência física de baixa renda para a aquisição de produtos avançados ou com melhor qualidade projetual por se tratar de equipamentos com maior tecnologia empregada e com componentes geralmente importados, o que acarreta elevado custo. Diante das atuais dificuldades enfrentadas por idosos incapacitados fisicamente e portadores de deficiência, este trabalho de pesquisa visa atender a demanda da população cadeirante ou com mobilidade reduzida com o desenvolvimento de um

acessório motorizado de acoplamento em cadeiras de rodas mecanomanual, visando a qualidade de vida e acessibilidade dos mesmos.

O projeto visa a construção de um equipamento de autopropulsão que será acoplado a uma cadeira de rodas convencional, tornando-a motorizada. O protótipo utilizará uma bicicleta como estrutura para o acoplamento e uma parafusadeira a bateria como modo de propulsão, empregando a metodologia de Pahl e Beitz na organização das fases do trabalho.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um protótipo de um equipamento de autopropulsão para acoplamento em uma cadeira de rodas manual com a utilização de uma ferramenta a bateria como motor.

1.2 Objetivos específicos

- Compreender os mecanismos de funcionamento dos diferentes modelos de cadeiras de rodas;
- Realizar uma pesquisa de mercado para encontrar custo médio de cadeiras de rodas;
- Desenvolver o projeto mecânico do dispositivo;
- Avaliar o equipamento em termos de custos e eficiência;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados alguns assuntos referentes às tecnologias assistivas, modelos de cadeiras de rodas e normas construtivas para equipamentos assistivos, assuntos esses de grande relevância para a realização do trabalho.

2.1 Equipamentos Assistivos

A tecnologia assistiva apresenta a capacidade de proporcionar qualidade de vida e autonomia a pessoas com mobilidade reduzida (MENDES; TIBÚRCIO, 2016). Seguindo essa categoria destacam-se as cadeiras de rodas como um equipamento fundamental para portadores de deficiências física ou motora nos membros inferiores, sendo um recurso de extrema importância para o auxílio no deslocamento (MEDINA; COELHO, 2007).

Como equipamento de apoio esse dispositivo permite maior independência de pessoas com alguma dificuldade ou incapacidade motriz, tornando-se o produto assistivo de maior

destaque. Desse modo, torna-se essencial a criação de acessórios por parte de engenheiros, inventores e profissionais qualificados a fim de desenvolver produtos assistivos que proporcionem maior liberdade a esta população.

Encontram-se no mercado quatro grupos de cadeira de rodas, diferentes entre si por suas formas estruturais. As cadeiras de rodas com armação rígida normalmente são utilizadas em ambientes internos. Cadeira de rodas dobráveis podem ser utilizadas em ambientes internos e externos e possuem propulsão manual. Já as cadeiras de rodas motorizadas, geralmente são utilizadas em pacientes com menor mobilidade motora. E por fim, as cadeiras de rodas esportivas produzidas com materiais mais leves e projetadas para melhorar a aerodinâmica.

Outra representação dos tipos de cadeira de rodas é apresentada por Barroso Neto (1986), onde os grupos são diferenciados pelo grau de complexidade tecnológica do equipamento assistivo, sendo classificados em alto, médio e baixo grau.

Os produtos de baixa complexidade tecnológica permitem que quase todos os problemas sejam resolvidos por um projetista que chegue até o projeto de um novo produto (BARROSO NETO, 1982). Este grupo representa a grande maioria das cadeiras de rodas mecanomaneuais fabricadas mundialmente.

Equipamentos com média complexidade exigem que o projetista encontre profissionais de áreas da saúde para resolver problemas específicos, que não são da sua esfera de competência. Esse modelo é classificado como cadeira de rodas eletromecânicas. (BARROSO NETO, 1982)

As cadeiras de rodas de alto grau de complexidade são denominadas como eletroeletrônicas, onde o projetista desenvolve alguns componentes do produto. Este grupo inclui o que existe de mais moderno para portadores de deficiências, sendo mais úteis em pacientes com lesões amplas e graves (BERTONCELLO; GOMES, 2002).

Com base na classificação dos grupos de cadeiras de rodas estabelecida por Bertoncello & Gomes (2009), o Quadro 1 representa a descrição de cada componente. Percebe-se que os mesmos elementos que compõem as cadeiras macanomanuais são encontrados nas cadeiras de rodas eletromecânicas e eletroeletrônicas adicionando componentes que automatizam o equipamento assistivo. O quadro representa o grupo em que pertence cada componente de uma cadeira de rodas seguindo de sua descrição.

Grupo		Componente	Descrição
Cadeira de Rodas Eletromecânica/Eletrônica	Cadeira de rodas Mecanomanual	Estrutura Tubular	Quadro ou frame, desenvolvida de acordo com o usuário, considerando-se biótipo e seqüela da deficiência.
		Rodas Traseiras	Compostas de pneus, aros, raios, cubos e aro de propulsão. Variam de 24 a 26 polegadas de diâmetro, de acordo com o usuário. São fixadas na cadeira através de eixos removíveis.
		Rodas Dianteiras	Confeccionadas em poliuretano, pelo fato de ser resistente e macio, facilitando o desliz. Geralmente apresentam de 3 a 5 polegadas de diâmetro. São fixadas em garfos, com sistema giratório o qual permite direcionar a cadeira.
		Pedal	Destinado ao posicionamento dos pés, geralmente é regulável.
		Protetor Lateral	Favorecer o equilíbrio do quadril e proteger o contato da roda com as pernas do usuário.
		Aro ou Volante Propulsor	Utilizado para dar propulsão à cadeira, facilitando o toque e a empunhadura, proporcionando agilidade à cadeira.
		Protetor de Raio	Proteger os raios das rodas, assim como os dedos do usuário.
	Controle	Geralmente é utilizado joystick controlador para regular a velocidade e direção da cadeira.	
	Sistema de Transmissão	Interliga motor às rodas da cadeira, variam entre transmissão por engrenagem, transmissão direta e transmissão por correia.	
	Baterias	Fator fundamental na determinação de autonomia e potência da cadeira. Variam entre diferentes composições, tais como, baterias de ácido, gel, ou baterias lacradas.	

Quadro 1 - Composição estrutural dos grupos de cadeira de rodas pela complexibilidade tecnológica.

(Fonte: ALVES, 2010)

2.1.1 Cadeira de rodas mecanomanuais

Entre os modelos manuais encontram-se subdivisões. Uma forma de divisão está relacionada com as diferenciações quanto ao material de fabricação e a estrutura, que pode ser de aço carbono, alumínio ou outras ligas. Outro modo de classificá-las é quanto à utilização, sendo disponibilizadas no modelo infantil, adulto, esportiva ou para banho (ALVES, 2010).

Pelo baixo preço, fácil manuseio e menor tecnologia empregada as cadeiras de rodas mecanomanuais são predominantes entre os usuários. Nesses casos, as dificuldades não estão restritas à patologia da deficiência, mas também às condições de vida e do acesso a assistência por parte desses sujeitos. O mercado nacional tem grande demanda neste tipo de equipamento e os fabricantes, a fim de aperfeiçoar os modelos, idealizam estudos que possibilitem oferecer maior conforto e facilidade, aumentando o número de modelos e proporcionando maiores benefícios aos usuários de equipamentos assistivos (ALVES, 2010).

Alguns modelos de cadeiras de rodas manuais são representados no Quadro 2.

Fabricante	Freedom	Jaguaribe	Ortobrás
Cadeira para Banho	Não Fabricada		
Modelo		Alumínio Dobrável	H1
Cadeira Adulto			
Modelo	Clean	Ágile	VD Alumínio
Cadeira Infantil	Não fabricada		
Modelo		Ágile infantil	Genesys Infantil

Cadeira Esportiva	Não Fabricada		
Modelo		Speed	M3 Premium

Quadro 2 - Modelos de cadeira de rodas mecanomanuais

(Fonte: Autor, 2022)

Nota-se que no Quadro 2 os diferentes modelos de cadeiras de rodas, começa com o modelo mais específico que são as para banho e de necessidades básicas. As cadeiras de adulto são mais facilmente encontradas, existem diversos modelos mecanomanuais atualmente no mercado e com possibilidades de inclusão de acessórios para auxiliar ainda mais os usuários. Já as cadeiras infantis são mais compactas e com um dimensionamento ideal para as crianças, ainda algumas marcas possuem a possibilidade de customizar as cores da cadeira. Diferente das cadeiras de adulto as infantis têm menor demanda de mercado o que acarreta maior valor de revenda. O modelo esportivo tem por sua vez uma tecnologia maior empregada, utilizando materiais mais leves e mais compactos facilitando manobras em espaços reduzidos.

2.1.2 Cadeira de rodas eletromecânicas

Esse grupo compreende as cadeiras de rodas conhecidas como motorizadas. São utilizadas principalmente para percorrer longas distâncias ou por usuários com dificuldades de condução independente, como por exemplo, idosos ou pessoas com deficiência unilateral dos membros superiores.

Os principais diferenciais desse modelo são a possibilidade de direção com apenas uma das mãos, a diminuição do esforço físico necessário e a promoção de maior liberdade de locomoção em ambientes externos. No mercado, estão disponíveis em diferentes modelos, com especificações próprias de cada fabricante (BERTONCELLO; GOMES, 2002).

Fabricante	Freedom	Jaguaribe	Ortobrás
Cadeira de rodas eletromecânica			
Modelo	Compact 20	Tiger	E4

Quadro 3 - Modelos de cadeira de rodas eletromecânicas.

(Fonte: Autor, 2022)

As cadeiras de rodas motorizadas ou eletromecânicas possuem alguns diferenciais comparadas com as mecanomanuais, a utilização de motores e transmissão proporcionam aos usuários a fácil dirigibilidade sem maiores esforços. Podemos encontrar diversas marcas no mercado, as mais conhecidas são Freedom, Jaguaribe e Ortobrás. Diferenciadas entre si pelos sistemas de transmissão e potência de motores, além do tipo de material que são fabricadas em aço carbono e alumínio.

2.1.3 Cadeira de rodas eletroeletrônicas

Semelhantes às cadeiras de rodas eletromecânicas, esse grupo apresenta como diferencial a maior tecnologia eletrônica agregada, através de sistemas computacionais que permitem a locomoção totalmente independente de esforços físicos do usuário. Esses dispositivos são os mais modernos encontrados no mercado atual, onde o projetista consegue desenvolver um produto com características específicas para cada necessidade, através de comandos de voz e movimentos faciais.

As cadeiras de rodas eletroeletrônicas possuem maior conveniência em situações de perdas graves das funções motoras, como indivíduos que perderam completamente os movimentos de membros superiores e inferiores e em doenças degenerativas graves (BERTONCELLO; GOMES, 2002).

Fabricante	Freedom	Jaguaribe	Ottobock
Cadeira de rodas eletroeletrônica			
Modelo	Stand Up	Stand Up	Juvo B4

Quadro 4 - Modelos de cadeira de rodas eletroeletrônicas.

(Fonte: Autor, 2022)

O modelo eletroeletrônico é o que tem de mais tecnológico no mercado de cadeiras de rodas. O modelo Stand Up da marca Freedom permite ao usuário a possibilidade de ficar de pé, com a regulagem da inclinação do assento e encosto. O modelo da marca Jaguaribe também permite ao usuário ficar de pé, controlado pelo joystick no apoio de braço. Por fim, a marca Ottobock tem o modelo Juvo B4 que possui o sistema de amortecimento confortável para uso externo, a suspensão da roda compensa ambientes irregulares e a pequena dimensão externa facilita a mobilidade em espaços pequenos.

2.2 Sistema de Tração para Cadeira de Rodas

As cadeiras de rodas eletromecânicas são equipamentos com alta tecnologia e utilizam dispositivos mecânicos e eletrônicos, que muitas vezes são equipamentos importados e de difícil acesso no mercado nacional, refletindo em um elevado custo deste tipo de dispositivo assistivo.

Com o desenvolvimento constante de pesquisas para promover a inclusão social, atualmente encontramos algumas outras formas de motorização para cadeiras de rodas convencionais no mercado externo. Entretanto, esse novo tipo de equipamento ainda é dificilmente encontrado no território nacional.

A utilização de acessórios para transformação de cadeiras de rodas mecanomanuais em eletromecânicas é uma forma de possibilitar essa conversão. Este tipo de equipamento torna possível empregar de uma forma motorizada a cadeira de rodas convencional, mantendo a integridade e a funcionalidade do equipamento. Alguns destes sistemas de tração independente estão apresentados no Quadro 5 para um melhor entendimento.

Fabricante	Alber	Nanjing Yuxin
Sistema de tração elétrica com acionamento por volante		
Modelo	E-pilot	Power-trike
Potência	650W	500W
Capacidade	100 kg	90 kg
Custo	R\$ 30268,00	R\$ 6695,80

Quadro 5 - Modelos de sistema de tração elétrica.

(Fonte: Autor, 2021)

O equipamento da fabricante Alber transforma a cadeira de rodas em um veículo esportivo, com uma bateria de íons de lítio de 13,8Ah fixada no quadro e uma roda motriz dianteira esse modelo permite chegar a velocidades de até 20 km/h e autonomia de até 50 km de distância. O peso total do sistema de tração E-pilot é de 18,4 kg e acoplado a uma cadeira de rodas manual pode transportar uma pessoa com peso máximo de 100 kg. Por ser um produto fabricado e comercializado na Europa, seu preço sofre alterações em razão do euro e torna-se oneroso.

O power-trike é um sistema de reboque elétrico que pode ser instalado em diversos modelos de cadeira de rodas mecanomaneuais, tracionado por uma roda dianteira ele alcança velocidades de 17 km/h para usuários com até 90 kg. O acoplador conta com bateria de lítio de 16 Ah e pode chegar a uma autonomia de 55 km. Indicado para utilização em diversos ambientes, este equipamento garante liberdade ao usuário em atividades diárias.

A partir dos modelos apresentados no Quadro 5, é possível pré-determinar a estrutura a ser desenvolvida no projeto. Ambos os modelos utilizam uma roda motora com tração elétrica acoplada através de um sistema de conexão entre a cadeira de rodas manual e o equipamento. O projeto a ser desenvolvido tem como referência as marcas apresentadas acima, com alterações relativas ao modo de alimentação da tração da roda e o modelo de acoplamento da cadeira de rodas.

2.3 Projeto de Máquinas

Para o desenvolvimento e concepção de um equipamento de engenharia é de suma importância a segurança, confiabilidade e funcionalidades dos componentes. O projeto de engenharia pode ser definido como “O processo de aplicação das várias técnicas e princípios científicos com a finalidade de definir um dispositivo, um processo ou um sistema com detalhes suficientes para permitir a sua realização”. (NORTON, 2000)

Uma máquina é formada basicamente de elementos inter-relacionados e quase sempre há alguma relação de transferência de energia entre estes. É tarefa do engenheiro calcular esses movimentos e forças a fim de determinar formas, tamanhos e materiais para cada peça da máquina. Apesar de necessário projetar um equipamento por completo, é crucial conhecer a função e o desempenho de cada parte individual, esse é o significado de projetos de máquinas (NORTON, 2000).

O principal objetivo de um projeto mecânico é dimensionar e modelar os elementos de máquina e escolher os materiais e processos de fabricação adequados para cada situação, conseqüentemente espera-se que o equipamento execute sem falhas as funções nele empregadas. Entretanto, um dos problemas enfrentados é o desconhecimento das condições necessárias para o dimensionamento aceitável das peças. Observa-se que, em alguns casos, as cargas externas são muito difíceis de conhecer, como por exemplo, em um automóvel em movimento. O engenheiro não prevê quais cargas o usuário submeterá a máquina (buracos, curvas, terreno, etc.). Neste sentido, dados empíricos são coletados a partir de testes reais para fornecer alguma informação para o *design* do produto. Admitindo-se uma configuração inicial para cada elemento, utilizando-se da análise dinâmica de forças para determinar esforços e uma rotina de repetições desejando o dimensionamento final de uma máquina precisa e confiável (NORTON, 2000).

2.4 Norma Construtiva de Equipamentos Assistivos

Para o desenvolvimento de projetos mecânicos as agências governamentais desenvolveram especificações e normas para equipamentos assistivos.

2.3.1 NORMA ABNT NBR 9050:2004

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece na norma NBR 9050:2004 critérios e parâmetros técnicos a serem observados. Para equipamentos assistivos a

norma determina especificações quanto ao projeto, construção, espaços e condições de acessibilidade em que são consideradas diversas condições de mobilidade e percepção do ambiente, com aparelhos específicos, como: cadeiras de rodas, bengalas, próteses, aparelhos de apoio ou quaisquer outros dispositivos que complemente as necessidades individuais. Para o projeto de um equipamento assistivo é fundamental a utilização das dimensões referenciais (Figura 1) para cadeiras de rodas manuais ou motorizadas. As dimensões estão representadas em metros.

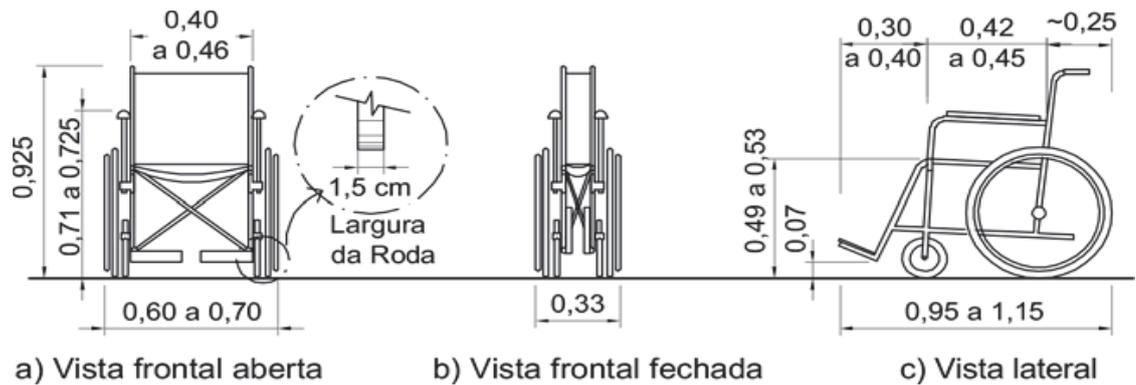


Figura 1 - Dimensões limitantes para a construção de cadeira de rodas

(Fonte: ABNT, 2004)

Conforme a norma descreve os limites de alcance manual que o usuário de cadeiras de rodas possui, é de suma importância para o equipamento proposto que será localizado a frente do cadeirante a identificação destes limites conforme a Figura 2, representa as dimensões em metros. O Quadro 6 explica cada limite.

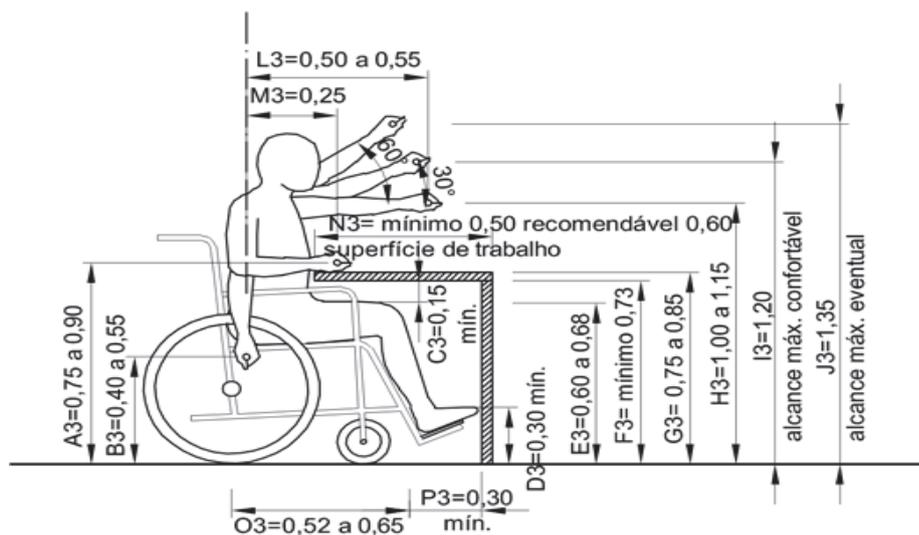


Figura 2 - Limites de alcance manual de cadeirantes.

(Fonte: ABNT, 2004)

Sigla	Descrição
A3	Altura do centro da mão com antebraço formando 90° com o tronco
B3	Altura do centro da mão estendida ao longo do eixo longitudinal do corpo
C3	Altura mínima livre entre a coxa e a parte inferior de objetos e equipamentos
D3	Altura mínima livre para encaixe dos pés
E3	Altura do piso até a parte superior da coxa
F3	Altura mínima livre para encaixe da cadeira de rodas sob o objeto
G3	Altura das superfícies de trabalho ou mesas
H3	Altura do centro da mão com braço estendido paralelo ao piso
I3	Altura do centro da mão com o braço estendido, formando 30° com o piso = alcance máximo confortável
J3	Altura do centro da mão com o braço estendido formando 60° com o piso = alcance máximo eventual
L3	Comprimento do braço na horizontal, do ombro ao centro da mão
M3	Comprimento do antebraço (do centro do cotovelo ao centro da mão)
N3	Profundidade da superfície de trabalho necessária para aproximação total
O3	Profundidade da nádega à parte superior do joelho
P3	Profundidade mínima necessária para encaixe dos pés

Quadro 6 - Descrição dos limites do alcance manual de cadeirantes

(Fonte: ABNT, 2004)

2.5 Considerações Sobre Revisão Bibliográfica

Finalizando o capítulo, no andamento da pesquisa foram abordados diversos assuntos de relevância para o trabalho, com a introdução dos diferentes tipos de equipamentos assistivos e suas particularidades e bem como as normas brasileiras de fabricação para este tipo de equipamento.

Por fim, o projeto de máquinas prevê uma análise minuciosa sobre os elementos inter-relacionados de um componente ou processo de fabricação para que, conseqüentemente, o equipamento execute suas funções sem falhas, com segurança e confiabilidade.

3 DESENVOLVIMENTO DO ACESSÓRIO MOTORIZADO

O desenvolvimento do projeto busca adaptar um sistema automotor para cadeira de rodas utilizando uma ferramenta a bateria como modo de propulsão, a partir do emprego de materiais de baixo custo e de uma parafusadeira a bateria. O equipamento foi desenvolvido com o acoplamento de uma estrutura com roda motorizada em uma cadeira de rodas manual.

Segundo Pahl e Beitz, três aspectos são fundamentais para o desenvolvimento e projeto de um produto. O planejamento do conteúdo de desenvolvimento do projeto, a estipulação do cronograma com as fases de trabalho e o planejamento dos custos do produto. Desse modo, é necessário a organização do projeto em etapas para que se atinja o máximo detalhamento possível e conseqüente desenvolvimento correto do equipamento. (PAHL et al., 2005). A Figura 3 mostra cada etapa do desenvolvimento.

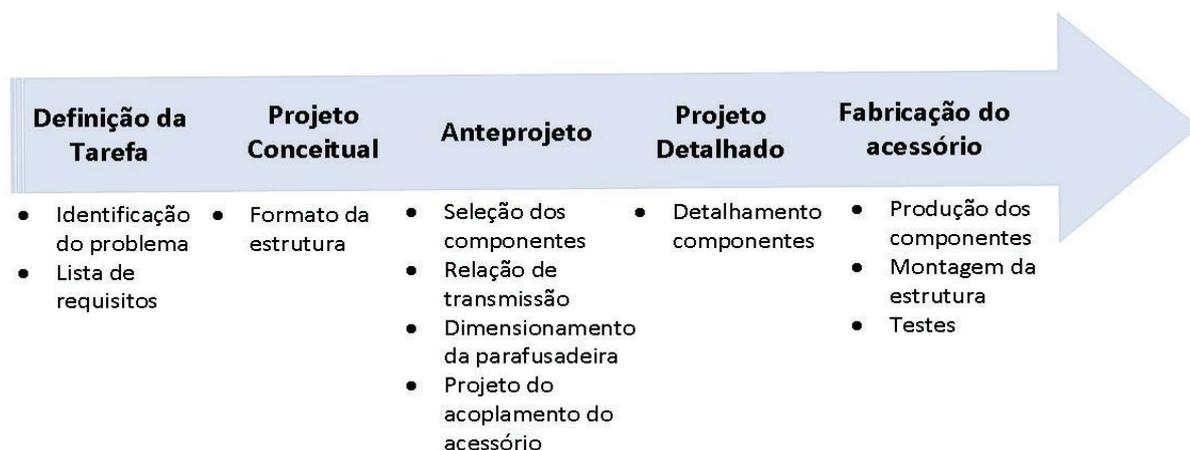


Figura 3 - Metodologia do desenvolvimento do projeto.

(Fonte: Autor, 2022)

Na primeira etapa da metodologia define-se a tarefa a ser executada, identificando o problema a ser resolvido com conceitos já existentes de acessórios para propulsão de uma cadeira de rodas manual. Identificou-se por meio de pesquisa *online* os diferentes mecanismos de acoplamento e motorização destes equipamentos. A partir de uma pesquisa de mercado em sites de fabricantes e de lojas online de produtos ortopédicos, selecionaram-se as cadeiras de rodas manuais e eletromecânicas mais presentes no mercado nacional, além de encontrar modelos de acoplamentos elétricos de fabricantes internacionais.

Com base nos dados obtidos na pesquisa de mercado foi elaborada a lista de requisitos para satisfazer os objetivos do projeto. O desenvolvimento da lista foi feito com base nos

modelos de equipamentos já existentes capazes de atender o usuário. Buscou-se nesta etapa definir os parâmetros funcionais e mecânicos do equipamento para a concepção do veículo motorizado em questão. Estes parâmetros são: área de trabalho, indicação de usuário, custo, acoplamento, forma de utilização, peso, freios, velocidade, autonomia, capacidade e modelos de ferramentas a bateria que podem ser usadas.

A segunda etapa está na concepção parcial da estrutura de acoplamento, entre a cadeira de rodas mecanomanual e o acessório motorizado. Nesta fase não foi utilizada a metodologia de Pahl e Beitz, pois o esquema conceitual já estava definido. Tendo que considerar os modelos em duplo X e monobloco das cadeiras manuais existentes no mercado nacional. Com base nas informações de pesquisa de mercado brasileiro destinada a equipamentos assistivos, nota-se a necessidade de encontrar produtos de baixo custo, mas que atendam às necessidades dos cadeirantes. O projeto pretende atender a parcela da população que não apresenta lesões ou deficiência dos membros superiores, visto que o equipamento projetado possui direção e freio mecânico, os quais necessitam o acionamento físico motor do usuário.

A partir da definição conceitual do equipamento é possível elaborar os cálculos de torque e velocidade que ratifiquem os requisitos escolhidos para o protótipo. Neste sentido, é possível escolher a ferramenta a bateria que melhor atende as necessidades estipuladas anteriormente.

Finalizando o embasamento teórico e matemático, definimos os componentes a serem selecionados para a construção. Como um dos objetivos do trabalho é avaliar custos de fabricação, os componentes foram escolhidos com base na facilidade de encontrar as peças e materiais e o uso de uma bicicleta como parte estrutural do conjunto motorizado.

Após as etapas de definição, conceito e anteprojeto chegamos ao detalhamento final de componentes e estrutura completa do acoplamento motorizado, com o modelamento em *software* 3D.

Por fim, os componentes do acessório foram fabricados por uma indústria metal mecânica de corte e dobra, e foi realizada a montagem do conjunto. Foram então realizados os testes para validar a aplicabilidade do acessório para autopropulsão da cadeira de rodas convencional. Posteriormente, foi verificada a autonomia da bateria da parafusadeira e a velocidade atingida pelo conjunto.

3.1 Fase 1: Definição da tarefa

O desenvolvimento do protótipo para um sistema motorizado de acoplamento em cadeira de rodas, busca a solução com baixo custo de fabricação alinhado à capacidade de transportar

com eficiência o usuário em ambientes internos e externos. Utilizando-se de uma ferramenta a bateria como motor foi possível verificar a sua aplicabilidade na tarefa de produzir torque e movimentar todo o conjunto.

O projeto é dividido em duas partes, sendo elas o acoplamento universal capaz de se adaptar em vários modelos de cadeira mecanomanual existentes no mercado nacional e o sistema de tração, constituído pela parafusadeira a bateria que exercerá a transferência de potência para a roda do acessório autopropulsor, sendo esse composto de freio e acelerador.

A primeira fase é de extrema importância para que se entenda as necessidades da execução do projeto baseado nos aspectos socioeconômicos da população assistida e nos principais requisitos que irão atender o mercado de modo mais satisfatório.

3.1.1 Pesquisa de mercado de cadeiras eletromecânicas

Para atender o objetivo de produzir um dispositivo com um custo menor do que os modelos de cadeira de rodas eletromecânicas disponíveis no mercado foi necessário a realização de uma pesquisa de mercado nacional dos principais fabricantes deste tipo de modelo. O custo de aquisição destes equipamentos varia consideravelmente entre os fabricantes, entretanto, a partir da análise dos produtos de mesmo segmento é possível estabelecer um custo médio.

A pesquisa de mercado foi realizada através de buscas em sites de fabricantes e de lojas *online* de produtos ortopédicos. Foram selecionados os modelos mais presentes no mercado brasileiro e de marcas reconhecidas como líderes de mercado.

A fim de comparar os modelos encontrados no comércio eletrônico foram utilizados como critérios de avaliação as seguintes características: materiais utilizados na confecção da cadeira de rodas, potência do motor, capacidade de carga do equipamento e custo médio do modelo de entrada. A partir dos dados encontrados foram confeccionadas tabelas comparativas entre as três principais marcas de cadeiras de rodas eletromecânicas.

Além disso, foram analisadas características tidas como diferenciais pelos fabricantes das cadeiras eletromecânicas, como por exemplo, ângulo de inclinação máxima permitida para vencer desafios de aclive, velocidade máxima atingida pelo equipamento e autonomia da bateria. Por fim, a pesquisa atualizada de preços de cada marca citada, levando-se em consideração o modelo mais simples comercializado sem adições de acessórios que personalizam o produto o que o tornam mais caro.

A pesquisa dos modelos de cadeiras de rodas eletromecânicas encontradas no mercado nacional permite perceber a disponibilidade de três marcas: Freedom, Jaguaribe e Ortobrás. Nesse cenário, cada marca possui particularidades, porém, encontram-se em uma faixa de preço similar. O Quadro 7 apresenta os principais modelos dessas marcas e uma análise comparativa entre elas, levando em consideração as especificações técnicas e o custo.

Fabricante	Freedom	Jaguaribe	Ortobrás
Cadeira de rodas eletromecânica			
Modelo	Compact 20	Tiger	E4
Tipo de Material	Aço carbono	Aço	Alumínio
Potência	400W	320W	300W
Capacidade de carga	130 kg	90 kg	120 kg
Custo	R\$ 9098,73	R\$ 8490,00	R\$ 9992,00

Quadro 7 - Modelos de cadeiras de rodas eletromecânicas.

(Fonte: Autor, 2022)

O modelo Compact 20 da fabricante Freedom é ideal para ambientes interno e externos e está disponível em diversas adaptações e customizações, nas derivações de tamanho de chassis (CP20, CM20 e CG20) e na versão reclinável (CPR20, CMR20 e CGR20). É um modelo portátil com fechamento em X, facilitando o transporte e a armazenagem. Suas rodas traseiras são aro 20” e as dianteiras 8”. Sua bateria de 38Ah proporciona uma autonomia de 15 km para o usuário. Seu diferencial para os outros modelos apresentados é a maior capacidade de carga e de potência, oferecendo ao usuário maior eficiência em suas atividades diárias.

A fabricante Jaguaribe apresenta o seu equipamento Tiger que possui o menor valor de aquisição entre os modelos citados. Entretanto, limita-se a uma capacidade de carga de apenas 90 kg. Esse equipamento contém um motor de 320W de potência e possui duas baterias de 12V cada, além de dispor de rodas dianteiras e traseiras com pneus infláveis de 8 e 12 polegadas respectivamente. O equipamento com o mais alto custo de aquisição entre os apresentados no Quadro 5 é da fabricante Ortobrás com o modelo E4, seu diferencial é sua estrutura confeccionada em alumínio que confere o menor peso do produto. Para a subida em rampas ela apresenta um ângulo de inclinação máximo de 12° e atinge uma velocidade máxima de 6,5

km/h. É possível retirar os apoios de pés e as baterias torna-se fácil de transportar, sendo um modelo dobrável, desmontável e compacto.

A partir da pesquisa de mercado é possível perceber que a média de preços das cadeiras de rodas eletromecânicas são similares e não sendo inferior a R\$8000,00. Desse modo, esses equipamentos se tornam inacessíveis a uma grande parcela da população.

3.1.2 Principais requisitos de projeto

A lista de requisitos é de suma importância para orientar o projeto a ser desenvolvido, considerando as funcionalidades do equipamento. Foi elaborado em formato de quadro com as características a serem analisadas. Para a classificação dos itens foi aplicado o seguinte formato: E – Exigência, deve ser obrigatório o seu cumprimento; D – Desejável, não é obrigatório, porém deseja-se cumprir.

O desenvolvimento da lista foi feito com base nos modelos de equipamentos já existentes capazes de atender o usuário, definidos na fase anterior de pesquisa de mercado. Buscou-se nesta etapa definir os parâmetros funcionais e mecânicos do equipamento para a concepção do veículo motorizado em questão. Estes parâmetros são: área de trabalho, indicação de usuário, custo, acoplamento, forma de utilização, peso, freios, velocidade, autonomia, capacidade e modelos de ferramentas a bateria que podem ser usadas.

O Quadro 8 apresenta a lista de requisitos elaborada segundo informações obtidas na revisão bibliográfica e no transcorrer da sessão. Na esquerda estão as características a serem consideradas do projeto do acoplamento de autopropulsão, no centro se localizam os pontos de maior relevância para o equipamento e na direita está a classificação pré-estabelecida.

Lista de Requisitos de projeto para o acessório de autopropulsão		E / D
Área de trabalho	Ambientes internos e externos	E
Indicação de usuários	Usuários que não apresentem fraqueza nos membros superiores	E
Custo de construção	Baixo custo	D
Acoplamento	Adaptável em modelos variados de cadeiras	D
Formas de utilização	Modelo híbrido portátil (convencional e motorizado)	E
Peso do acoplamento	Cerca de 20kg	D
Sistema de freios	Independente	D
Controle da velocidade	Velocidade variável	D

Combustível	Baterias recarregáveis	E
Autonomia	Duração de 10 km	D
Capacidade	90kg	E
Inclinação em rampas	10°	D
Modelos de parafusadeira	Acoplamento de diversos modelos e marcas de parafusadeiras a bateria	D

Quadro 8 - Lista de requisitos para o acessório de autopropulsão.

(Fonte: Autor, 2022)

3.2 Fase 2: Projeto conceitual

Para o projeto do equipamento assistivo é fundamental a utilização de normas para a definição das condições iniciais e posteriores análises cinemáticas e dinâmicas. Para cadeiras de rodas mecanomanuais a norma NBR 9050:2004 é quem determina as características dos equipamentos assistivos.

Com base nas informações de pesquisa de mercado brasileiro destinada a equipamentos assistivos, nota-se a necessidade de encontrar produtos de baixo custo, mas que atendam às necessidades dos cadeirantes. O projeto pretendeu atender a parcela da população que não apresenta lesões ou deficiência dos membros superiores, visto que o equipamento projetado possui direção e freio mecânico, os quais necessitam o acionamento físico motor do usuário.

O design do esquema conceitual foi elaborado com base nas informações da lista de requisitos e revisão bibliográfica. As etapas de estrutura de funções, matriz morfológica de funções, seleção de variantes, entre outras não foram necessárias. Como o conceito já estava definido, para ganhar tempo na fabricação do conjunto e testar a eficiência do mesmo, prosseguimos com as etapas posteriores do projeto.

Como o projeto pretende possibilitar um menor custo de construção do equipamento, foi baseado em uma estrutura originária de uma bicicleta, utilizando-se da roda traseira (5) com engrenagem e o garfo (6) para fixação da roda no guidão (2). Foi projetado um suporte para fixação da parafusadeira (3) no garfo com uma engrenagem motora (4) responsável pela transmissão de força através da corrente, a fixação do acessório na cadeira de rodas é possível através da abraçadeira (1). A Figura 4 representa o esquema do acessório motorizado.



Figura 4 - Esquema conceitual do acessório com a cadeira de rodas.

(Fonte: Autor, 2022)

Essencialmente, o esquema conceitual é uma estrutura que contém a roda e a direção com um formato muito parecido com as bicicletas convencionais, diferenciando-se com a aplicação de um acoplamento para as cadeiras de rodas mecanomanuais e o suporte para a fixação de uma ferramenta elétrica a bateria para a motorização do conjunto.

3.3 Fase 3: Anteprojeto

Fundamentando-se na lista de requisitos e no esquema conceitual ilustrado na Figura 9, a fase 3 de anteprojeto fez a seleção dos componentes, o dimensionamento da parafusadeira a bateria a ser usada, a relação de transmissão entre as engrenagens e o projeto do acoplamento. Nesta etapa levou-se em consideração a seleção de componentes com baixo custo, reutilizando peças de uma bicicleta infantil e a utilização de uma parafusadeira a bateria para a motorização do equipamento.

3.3.1 Seleção dos componentes

Para cumprir o objetivo de construir um acessório de baixo custo e com eficiência, a partir da seleção de componentes de fácil acesso e materiais com baixo valor agregado, procurou-se utilizar uma estrutura compatível com a funcionalidade necessária para a eficiência do equipamento.

Baseando-se na revisão bibliográfica acerca do sistema de tração para cadeiras de rodas, foi possível verificar a semelhança entre uma bicicleta e o acessório motorizado. Desta forma, será utilizada uma bicicleta infantil para atender a tarefa de guiar o conjunto. Da mesma, serão utilizados o guidão, a roda traseira, a engrenagem, a corrente, o freio e a estrutura tubular.



Figura 5 - Bicicleta infantil.

(Fonte: Autor, 2022)

Para a determinação da relação de transmissão entre as engrenagens e correntes utilizou-se o mesmo sistema encontrado nas bicicletas. A corrente e engrenagem foram retiradas de uma bicicleta 24 marchas, possibilitando várias combinações de engrenagens que poderiam ser usadas. A figura 6 representa a coroa de engrenagem tripla contendo 3 engrenagens fixas, tendo 48, 38 e 28 dentes respectivamente.

Também foram utilizadas engrenagens da catraca roda livre conforme Figura 6, com número de dentes conforme a ordem 14z, 16z, 18z, 21z, 24z e 28z. Para a melhor utilização as engrenagens foram separadas da catraca possibilitando utilizá-las avulsas.



Figura 6 - Coroa de bicicleta tripla à esquerda e catraca roda livre à direita.

(Fonte: Pedaciclo, 2022)

O acoplamento entre o acessório e a cadeira de rodas foi desenvolvido utilizando tubos e chapas de aço carbono conforme a Figura 7. Para a definição de dimensões buscou-se considerar as medidas comercialmente encontradas no mercado. Foi utilizado um tubo redondo (1) com 25,40mm de diâmetro e espessura de 2,00mm e dois tipos de tubos quadrados. Para os tubos quadrados (2) considerou-se 2 medidas que fizessem o encaixe interno e externo dos tubos. O tubo externo conta com seção de 30x30mm e parede de 2,00mm, já o tubo interno possui seção de 25x25mm e parede de 1,20mm.

As peças denominadas como flange foram desenvolvidas com chapas metálicas em aço carbono. O conjunto conta com duas chapas flange laterais e uma chapa flange do meio. A chapa flange do meio (3) tem espessura de 6,35mm, já as chapas flange laterais (4) têm espessura de 4,75mm. A produção destes itens foi realizada com empresa metalúrgica de corte, dobra e conformação.

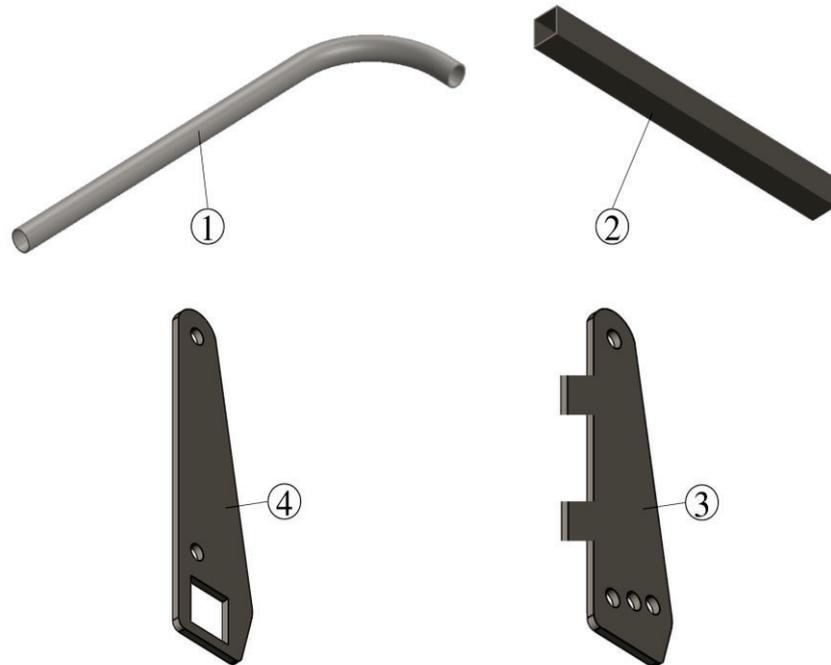


Figura 7 - Componentes do acoplamento
(Fonte: Autor, 2022)

Para a fixação entre o acoplamento e a cadeira de rodas manual foram utilizados dois suportes mesa de guidão, retirados de duas bicicletas, como abraçadeira, Figura 8. A fixação no tubo da cadeira de rodas e o tubo do acoplamento ocorre com o encaixe tipo meia lua de parafusos no tubo da cadeira de rodas, onde serão as únicas peças fixadas na cadeira de rodas.



Figura 8 - Suporte mesa de guidão.
(Fonte: Mercado Livre, 2022)

3.3.2 Dimensionamento da parafusadeira

A motorização do equipamento se dá através de uma ferramenta a bateria (Parafusadeira). Esse modo de alimentação foi escolhido por ser um equipamento mais facilmente encontrado

pelo usuário, já que ele exerce outras funções típicas do dia a dia, como parafusar e furar, sendo identificado o seu potencial de transformar sua energia de rotação em dinâmica para transportar uma pessoa.

No quadro 9 são apresentados alguns requisitos para a seleção de uma parafusadeira ideal para o funcionamento do acessório motorizado, elaborado em formato de quadro com as características a serem consideradas: E – Exigência, deve ser obrigatório o seu cumprimento; D – Desejável, não é obrigatório, porém deseja-se cumprir.

Lista de Requisitos para Seleção de Parafusadeira		E / D
Custo	Baixo custo, máximo R\$2000,00	D
Mandril de aperto	Aperto rápido, mínimo 8mm	E
Peso	Máximo 2kg	D
Combustível	Baterias recarregáveis	E
Bateria	Bateria do tipo cambiável	D
Motor	Tipo Brushless	D
Torque	Mínimo de 70 N.m	E
Impacto	Não possuir essa função	E

Quadro 9 - Lista de requisitos para a seleção da parafusadeira.

(Fonte: Autor, 2022)

Segue as especificações da parafusadeira, diâmetro da roda, velocidade e peso do conjunto:

- Rotação máxima de 2000 rpm
- Potência 460W
- Diâmetro da roda 390 mm
- Velocidade pretendida 30 km/h
- Peso estimado do conjunto 120 Kg

A partir da lista de requisitos, foi selecionada a parafusadeira a bateria da marca Dewalt com torque de 70 N.m e velocidades que variam entre 0-550/0-2000 rpm, o peso da ferramenta com a bateria é de 1,3Kg. O modelo foi escolhido considerando alguns fatores importantes como: torque, bateria cambiável e a furadeira não possuir o sistema de impacto. Desta forma, quando a parafusadeira sofrer esforço no momento do torque para a engrenagem motora ela não vai transferir golpes, o que transmitiriam para a roda de tração e acarretaria problemas na movimentação do acessório.



Figura 9 - Parafusadeira à bateria Dewalt DCD 791.

(Fonte: Magazine Luiza, 2022)

3.3.3 Relação de transmissão

Para determinarmos a relação de transmissão entre as engrenagens e correntes, utilizamos as engrenagens disponíveis no momento da montagem. Com a definição da parafusadeira a bateria a ser utilizada e sua potência e torque podemos efetuar os cálculos de melhor relação de transmissão. Na figura 10 é apresentado o esquema simplificado do sistema de transmissão a ser utilizado. Uma vez conhecidos os requisitos mínimos para a construção da transmissão, parte-se para a análise preliminar, definindo o número de estágios necessários e o número de dentes de cada engrenagem.

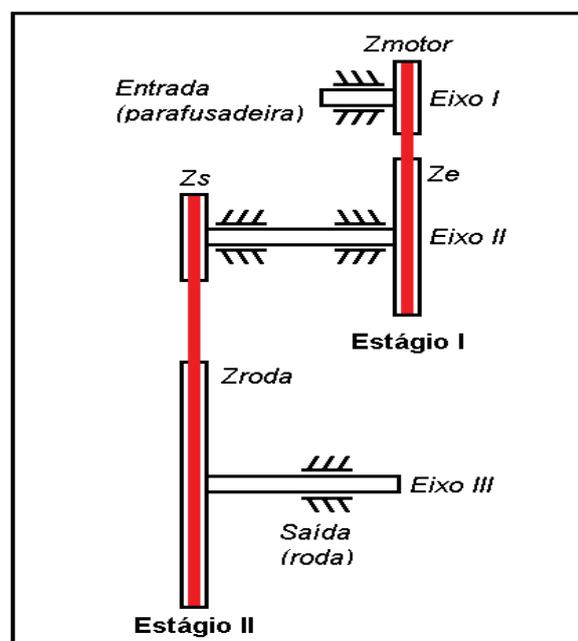


Figura 10 - Esquema simplificado da transmissão

(Fonte: Autor, 2022)

Para determinarmos a transmissão de cada estágio é preciso utilizar as engrenagens disponíveis para o projeto, prevemos uma redução de aproximadamente 2 vezes a rotação no primeiro estágio, e o número de dentes da roda motora Z_{motor} está definido como 14, o mesmo podendo adotar um número menor de dentes.

Conhecendo os números de dentes da roda motora e a relação de redução que prevemos, podemos determinar o número de dentes da roda Z_e com base nas engrenagens disponíveis na montagem, a partir da equação 1.

$$i = \frac{Z_e}{Z_{motor}} \quad (1)$$

$$2 = \frac{Z_e}{14}$$

$$\mathbf{Z_e = 28}$$

Para o segundo estágio de transmissão está previsto uma redução de aproximadamente 3 vezes. Considerando o número de dentes da Z_{roda} como 48 para ter uma maior redução possível, a partir da equação 2 determina-se o número de dentes da roda dentada Z_s .

$$i = \frac{Z_{roda}}{Z_s} \quad (2)$$

$$3 = \frac{48}{Z_s}$$

$$\mathbf{Z_s = 16}$$

Após definidos os números de dentes das engrenagens de cada estágio podemos encontrar a relação de transmissão final que o esquema da Figura 10 demonstra. Para isso, foi utilizada a equação 3.

$$i = \frac{Z_{roda}}{Z_s} \times \frac{Z_e}{Z_{motor}} \quad (3)$$

$$i = \frac{48}{16} \times \frac{28}{14}$$

$$\mathbf{i = 6}$$

Determinada a relação de transmissão final verificamos a rotação do acessório, com a equação 4 temos a rotação do eixo II. A rotação da parafusadeira selecionada é de 2000 rpm.

$$rpm \text{ Eixo III} = rpm \text{ Parafusadeira} \times \frac{Z_{motor}}{Z_e} \quad (4)$$

$$rpm \text{ Eixo II} = 2000 \times \frac{14}{28}$$

$$\mathbf{rpm \text{ Eixo II} = 1000}$$

Com a rotação do eixo II definida utiliza-se a equação 5 para determinar a rotação final do conjunto.

$$rpm \text{ Eixo III} = rpm \text{ Eixo II} \times \frac{Z_s}{Z_{roda}} \quad (5)$$

$$rpm \text{ Eixo III} = 1000 \times \frac{16}{48}$$

$$\mathbf{rpm \text{ Eixo III} = 333,34}$$

Podemos calcular a velocidade da corrente (V_c) no estágio I a partir da equação 6. Para isso, identificou-se que o passo da corrente (t) é de 9,53mm (3/8") para os dois estágios. E a rotação (n) da parafusadeira de 2000 rpm.

$$V_c \text{ motor} = \frac{Z_{motor} \times t \times n}{60 \times 1000} \quad (6)$$

$$V_c \text{ motor} = \frac{14 \times 9,53 \times 2000}{60 \times 1000}$$

$$\mathbf{V_c \text{ motor} = 4,47 \text{ m/s}}$$

Para calcular a velocidade da corrente no estágio II utilizou-se com a equação (7). Para a rotação (n) neste ponto aplicamos o resultado da equação (5).

$$V_c \text{ roda} = \frac{Z_{roda} \times t \times n}{60 \times 1000} \quad (7)$$

$$V_c \text{ roda} = \frac{48 \times 9,53 \times 333,34}{60 \times 1000}$$

$$\mathbf{V_c \text{ motor} = 2,54 \text{ m/s}}$$

A partir dos dados obtidos determinou-se os coeficientes do Fator de Operação K. Onde, o fator de serviço utilizamos $K_s = 1,0$ para uma carga constante. Fator de lubrificação empregou-se $K_l = 1,3$ com uma lubrificação periódica. Por fim, o fator de posição $K_p = 1,3$ considerando a linha de centro da transmissão possui uma inclinação superior a 45° em relação à horizontal.

3.3.4 Projeto do acoplamento do acessório

Compreender os diferentes modelos de cadeiras de rodas mecanomanuais foi fundamental para o desenvolvimento do acoplador do acessório motorizado com a estrutura física da cadeira de rodas, uma vez que o projeto pretendeu modular um suporte universal com a instalação em diferentes modelos. Após as análises das marcas nacionais de cadeiras manuais comercializadas no país, foi possível observar algumas características entre os modelos estudados, como:

- a) Estrutura construída em barras tubulares de alumínio e aço carbono;
- b) Apoio dos pés fixos ou móveis;
- c) Barras verticais frontais de sustentação dos rodízios dianteiros paralelas e simétricas;
- d) Barras horizontais superiores para sustentação do assento paralelas e simétricas;
- e) Abertura frontal mínima equivalente a 340mm;
- f) Abertura frontal máxima equivalente a 440mm.

Após essa análise das características em comum entre os modelos estudados, o projeto do acoplamento foi desenvolvido tanto para cadeiras de rodas com estrutura dobrável em duplo X quanto para estrutura rígida monobloco.

A Figura 12 representa a montagem do sistema de acoplamento entre a cadeira de rodas e o conjunto motorizado. O tubo redondo (1) é igual para ambos os lados e cada um é soldado no tubo quadrado interno (2). As chapas flanges laterais (5) são soldadas no tubo quadrado externo (3) e possuem o espaçamento entre elas para o encaixe da chapa flange (4).

O acoplamento é composto de tubos para a fácil instalação na cadeira de rodas e tem capacidade de variar suas medidas, com os tubos internos e externos é possível aumentar ou diminuir a distância entre as pontas possibilitando o encaixe em diferentes modelos de cadeiras mecanomanual. A aplicação do tubo redondo viabiliza o acessório ao acoplar na braçadeira que está fixa na cadeira de rodas, facilitando o acoplamento por não possuir encaixes ou cantos específicos na hora de montar o acessório.

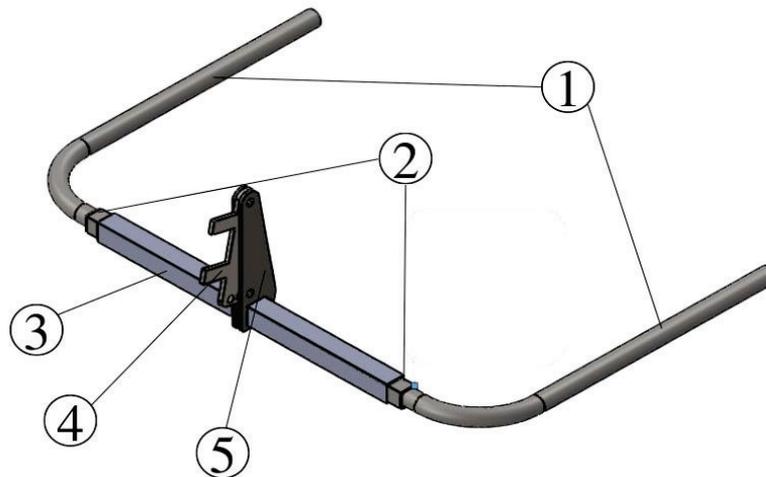


Figura 12 - Montagem do acoplamento.

(Fonte: Autor, 2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para o desenvolvimento e construção do acessório de acoplamento motorizado para cadeira de rodas mecanomanual. Com o objetivo de desenvolver um equipamento de baixo custo, foram estudados projetos semelhantes ao desenvolvido, e buscou-se uma substituição de componentes de fácil acesso como a bicicleta infantil, para alcançar um número maior de pessoas com essa tecnologia.

Logo, verificamos a possibilidade de utilizar a bicicleta como parte da estrutura do acessório. Em seguida, foi desenvolvido um projeto estrutural adaptado. O sistema de motorização do conjunto partiu do objetivo geral de utilizar uma parafusadeira a bateria. Com a seleção da ferramenta foi identificada a necessidade de adicionar um sistema de transmissão por correntes para evitar uma rotação exagerada para a movimentação da roda, a partir do dimensionamento da relação de transmissão.

Em síntese, o projeto final do acessório para autopropulsão de uma cadeira de rodas mecanomanual é apresentado na Figura 13.



Figura 13 - Protótipo ilustrativamente concluído com todos os seus componentes
(Fonte: Autor, 2022)

A construção e montagem do protótipo foram realizadas após as tarefas de desenvolvimento e dimensionamento do equipamento.

Com base nas informações apresentadas e análises realizadas sobre a utilização da parafusadeira a bateria, a escolha de uma ferramenta que não possua a função impacto foi de extrema importância pelo fato de que ao realizar a tarefa de motorizar a roda o equipamento iria sofrer golpes, o que ocasionaria o funcionamento incorreto e prejudicaria o usuário ao utilizar o acessório. A figura 14 representa a motorização do acessório com a fixação da parafusadeira e o sistema de acionamento da mesma.

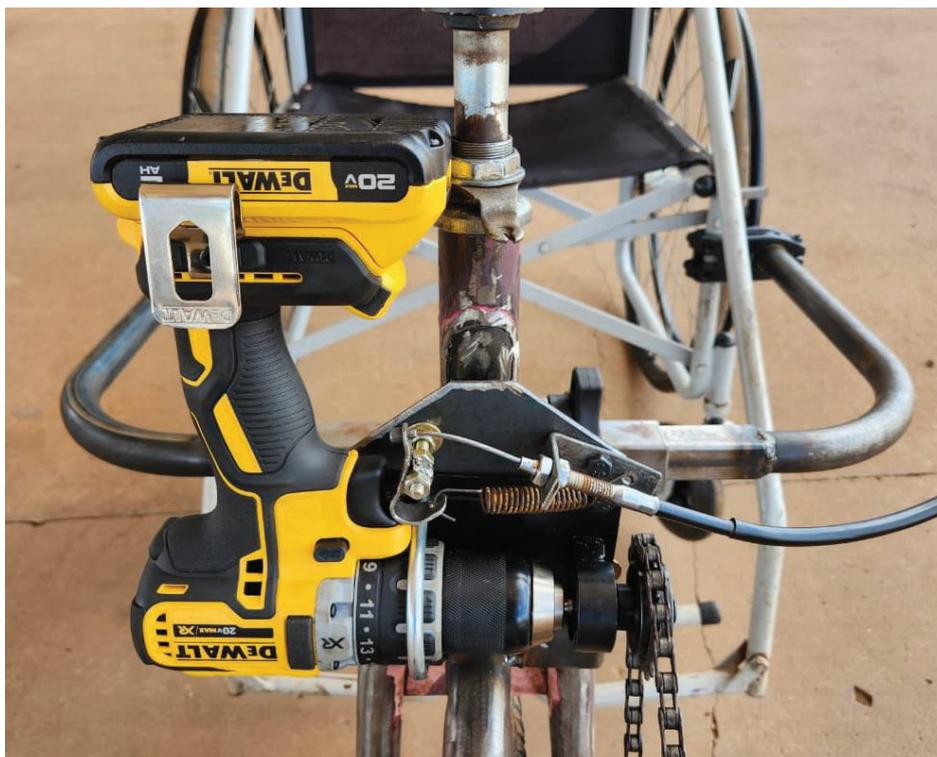


Figura 14 - Sistema de motorização.

(Fonte: Autor, 2022)

O sistema de motorização possui um mecanismo de acionamento do gatilho da parafusadeira, este é composto por um cabo que liga o manete de aceleração ao acionador. Também compõem o conjunto uma mola de compressão para puxar o acionador e mantém o mesmo no ponto neutro, que não liga a parafusadeira.

A escolha de elementos usuais na construção de bicicletas foi fundamental para sua concepção. A roda, garfo, guidão e sistema de freio foram utilizados juntamente com o sistema de acoplamento e abraçadeiras. O acoplamento, Figura 15, foi construído com o objetivo de ser universal para a sua instalação. Com o ajuste dos tubos interno e externo o conjunto pode variar o seu tamanho, permitindo modificações conforme as dimensões da cadeira de rodas.



Figura 15 - Acoplamento
(Fonte: Autor, 2022)

A elaboração de um conjunto de engrenagens para a transmissão da potência entre a parafusadeira e a roda foi possível através do estudo de elementos de máquinas. Com a utilização de engrenagens do sistema de transmissão da bicicleta encontramos a melhor relação entre a parafusadeira e a roda motorizada. A Figura 16 representa a transmissão em dois estágios.



Figura 16 - Transmissão
(Fonte: Autor, 2022)

Por fim, a Figura 17 apresenta o acessório para autopropulsão acoplado na cadeira de rodas mecanomanual.



Figura 17 - Protótipo do acessório acoplado a cadeira de rodas mecanomanual
(Fonte: Autor, 2022)

No decorrer do desenvolvimento da pesquisa ocorreram diversas modificações mecânicas com alguns testes que foram importantes na escolha dos componentes de fabricação. Ao final, foi gerado uma lista com os componentes e serviços necessários para a fabricação do equipamento, conhecendo os custos para a montagem do acessório, apresentado na Tabela 1.

Descrição	Qtd	Valor und.	Valor parcial
Adaptador Suporte De Bancada P/Parafusadeira	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
Suporte Mesa De Guidão	2	R\$ 85,00	R\$ 170,00
Chapa Flange do Meio #6,35mm A36	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Chapa Flange #4,75mm A36	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
Tubo Quadrado Interno	2	R\$ 21,04	R\$ 42,08
Tubo Quadrado Externo	1	R\$ 39,03	R\$ 39,03
Tubo Redondo Esq. Dir.	2	R\$ 36,41	R\$ 72,82

Descrição	Qtd	Valor und.	Valor parcial
Parafusos, arruelas e porcas	10	R\$ 3,00	R\$ 30,00
Tinta spray 400ml	2	R\$ 15,00	R\$ 30,00
Rolamento 6204	2	R\$ 15,00	R\$ 30,00
Serviço de Solda	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Parafusadeira com Bateria Dewalt DCD791	1	R\$ 1.130,00	R\$ 1.130,00
TOTAL			R\$ 1.793,93

Tabela 1 - Custos de fabricação do protótipo

(Fonte: Autor, 2022)

Para a realização dos testes de viabilidade e performance do protótipo foi percorrido um percurso de aproximadamente 500 metros para analisar velocidade média. Para o teste de inclinação máxima que o equipamento pode superar foi utilizada uma rampa de acesso a cadeirante de uma calçada. A autonomia das baterias foi analisada em um trajeto de 2 km sendo suficiente para o mesmo. A bateria utilizada possui 2Ah e três níveis de carga indicados por uma luz, sendo que com três luzes acesas indica carga total e uma luz carga mínima. Ao final do percurso a indicação era de duas luzes acesas. O trajeto foi realizado na cidade de Almirante Tamandaré do Sul onde o mesmo foi construído e montado. A figura 18 representa o conjunto sendo submetido ao teste de acesso à calçada com rampa.



Figura 18 - Calçada com rampa de acesso.

(Fonte: Autor, 2022)

Durante o período de testes, o equipamento foi submetido a diferentes situações de terreno, rampas com inclinações e níveis diferentes de carga da bateria. A Tabela 2 representa os resultados obtidos.

Descrição	Resultado
Velocidade média	12 km/h
Controle da velocidade	Variável, conforme a parafusadeira
Sistema de freios	Independente, freio bicicleta
Autonomia	Bateria 2Ah meia carga fez 2 km
Rampas inclinadas	Rampa acesso a calçadas
Peso do acoplamento	18 Kg
Tipo de terreno	Pavimentação, calçadas e terrenos irregulares

Tabela 2 - Testes dinâmicos realizados no protótipo.

(Fonte: Autor, 2022)

5 CONCLUSÕES

A Tabela 3 apresenta a comparação entre os principais requisitos de projeto estabelecidos inicialmente no Quadro 8 e os resultados alcançados nas fases de teste do protótipo.

Descrição	Requisito	Resultado
Área de trabalho	Ambientes internos e externos	Teste em ambientes externos
Indicação de usuários	Usuários que não apresentem fraqueza nos membros superiores	Usuários que não apresentem fraqueza nos membros superiores
Custo de construção	Baixo custo	Médio custo
Acoplamento	Adaptável em modelos variados de cadeiras	Adaptável em modelos variados de cadeiras
Formas de utilização	Modelo híbrido portátil (convencional e motorizado)	Acessório pode ser desacoplado
Peso do acoplamento	Cerca de 20kg	18kg
Sistema de freios	Independente	Freio bicicleta

Descrição	Requisito	Resultado
Controle da velocidade	Velocidade variável	Velocidade variável da parafusadeira
Combustível	Baterias recarregáveis	Baterias recarregáveis da marca Dewalt
Autonomia	Duração de 10 km	Bateria meia carga percorre 2 km
Capacidade	90kg	100kg
Inclinação em rampas	10°	Rampa acesso a calçadas
Modelos de parafusadeira	Acoplamento de diversos modelos e marcas de parafusadeiras a bateria	Parafusadeira Dewalt DCD791

Tabela 3 - Verificação dos requisitos de projeto.

(Fonte: Autor, 2022)

O principal objetivo do trabalho é o projeto de um sistema de tração independente para o acoplamento em cadeira de rodas manuais, para que o objetivo fosse cumprido foi muito importante o entendimento conceitual do problema com a utilização da literatura. Durante a revisão bibliográfica, foi possível verificar a existência de projetos semelhantes de diferentes autorias, entretanto, todos com o conceito de uma roda motorizada com motor elétrico, diferente do projeto atual que visa a utilização de uma parafusadeira a bateria como meio de motorização. Além disso, um maior aprofundamento acerca das normas técnicas para a construção de equipamentos assistivos tornou possível compreender parte dos requisitos para o equipamento.

Posteriormente, o levantamento de dados a partir da pesquisa de mercado para encontrar os modelos de cadeiras de rodas comercializadas no âmbito nacional e a elaboração da lista de requisitos para definir os objetivos foram de extrema importância para a sequência do trabalho. Nesta etapa, também foram desenvolvidos os desenhos do esquema de acoplamento do acessório na cadeira de rodas.

A partir disso, foi possível atender o objetivo de compreender os diferentes modelos de cadeiras de rodas disponíveis no mercado a partir da revisão da bibliografia em que foram pesquisadas as classificações de grau de complexidade das cadeiras de rodas e exemplos de modelos em cada categoria, sendo possível entender os diferenciais existentes entre elas. Além disso, o desenvolvimento de uma pesquisa de mercado em site de fornecedores nacionais e de

produtos ortopédicos online permitiu constatar os modelos mais vendidos e as médias de custos encontradas pelo usuário, o que possibilitou atender ao segundo objetivo específico.

É notável pela Tabela 1 apresentada que o acessório motorizado exibe custos elevados para a implantação, muito se dá pelo fato de que a parafusadeira a bateria representa mais de 63% do valor do equipamento. Para uma redução do valor final do projeto faz-se necessário a pesquisa de outros modelos de parafusadeira com menor valor agregado e que atendam os mesmos requisitos ou o desenvolvimento de uma forma diferente de motorização como as rodas de bicicleta motorizadas. É possível também a redução de custos com a fabricação da estrutura em série, onde os materiais utilizados possuem valores reduzidos aos comparados com as quantidades para um equipamento.

Entretanto, comparando o acessório motorizado desenvolvido com o sistema de tração elétrica apresentado no quadro 5, percebe-se que o primeiro possui um custo significativamente menor. Essa diferença entre os custos pode ser atribuída pelos materiais de fabricação utilizados.

Percebe-se as melhorias que podem ser feitas para o projeto em estudo visando a comodidade e segurança do cadeirante.

Abaixo segue algumas melhorias que podem ser realizadas para trabalhos futuros:

- a) Instalação de sistemas de iluminação para a segurança do usuário;
- b) Pesquisa para desenvolver um motor de tração elétrico com baixo custo;
- c) Sistema para desacoplar o acessório da cadeira de rodas
- d) Redimensionar o acessório para o acoplamento em cadeira de rodas infantis;
- e) Projetar a estrutura com materiais que contribuam para a eficiência do equipamento motorizado.

Destacando a viabilidade econômica como um objetivo maior a ser cumprido em qualquer pesquisa sobre acessibilidade, também a segurança do usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **ABNT NBR 9050:2004 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.abnt.org.br>.

ALVES, Julio Oliveto. **Protótipo de sistema automotor para cadeira de rodas.** 2011.

BARROSO NETO, E. CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPQ). **Desenho industrial; desenvolvimento de produtos; oferta brasileira de entidades de projeto e consultoria.** [s.l: s.n.].

BERTONCELLO, I.; GOMES, L. V. N. **Análise diacrônica e sincrônica da cadeira de rodas mecanomanual.** Production, v. 12, n. 1, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/Sz3gXvGSRQC7hDSzDxMKmhH/abstract/?lang=pt#>. Acesso em 18 set. 2021.

IBGE. **PNS 2019: país tem 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência.** Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia>>. Acesso em: 24 set. 2021.

LIANZA, S.; SPOSITO, M. M. DE M. **Reabilitação: a Locomoção em Pacientes com Lesão Medular.** 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

MEDINA, A. G.; COELHO, D. B. **Aspectos biomecânicos e funcionais na prescrição de cadeira de rodas.** 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228443930_Aspectos_biomecanicos_e_funcionais_na_prescricao_de_cadeira_de_rodas. Acesso em: 04 out. 2021.

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de Máquinas-Edição revisada, atualizada e ampliada.** Saraiva Educação SA, 2018.

MENDES, R. B. TIBÚRCIO, T. M. DE S. **Cadeira de Rodas Manual: O Impacto dos Problemas Relacionados à Tecnologia Assistiva na Melhoria da Qualidade de Vida de Pessoas com Mobilidade Reduzida.** Artefactum - Revista de estudos em Linguagens e Tecnologia, v. 12, n. 1, 2016. Disponível em: <http://artefactum.rafrom.com.br/index.php/artefactum/article/view/971>. Acesso em: 22 set. 2021.

NORTON, R. L. **Machine design; an integrated approach.** 2. ed. New York: [s.n.].

PAHL, G. et al. Projeto na Engenharia. 6. ed. [s.l: s.n.].

SAGAWA JUNIOR, Y. et al. **Análise da propulsão em cadeira de rodas manual: revisão de literatura.** Fisioter. Mov, v. 25, n. 1, p. 185–194, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fm/a/7HGzT6VPqNDRbs5bGnFsnf/?lang=en#>. Acesso em: 21 set. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **World report on disability.** 2011. Disponível em: https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf. Acesso em: 26 set. 2021.