

PROJETO E PROTÓTIPO DE UMA CADEIRA DE RODAS AUTOMATIZADA DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO TUBOS DE PVC

DESIGN AND PROTOTYPE OF A LOW-COST AUTOMATED WHEELCHAIR USING PVC TUBES

Luís Henrique Pinheiro da Silva¹; Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar²

¹ Acadêmico de Engenharia Mecânica; Engenharia Mecânica - UPF, E-mail: luis-henrique-25@hotmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica; Faculdade de Engenharia e Arquitetura, UPF, E-mail: ipar@upf.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento de projeto, construção e teste de um protótipo de cadeira de rodas automatizada, importante equipamento de tecnologia assistiva, utilizando como princípio o projeto de uma cadeira de rodas infantil. Para um menor custo foi utilizado como material construtivo o Policloreto de Vinila rígido. O conceito do projeto foi estudado, junto aos equipamentos necessários para aplicá-lo. Uma análise estrutural foi realizada para conhecer o comportamento da estrutura quando solicitada, proporcionando segurança. Verificou-se estruturalmente e dimensionou-se para possibilitar uma capacidade de carga maior, podendo acomodar adultos, proporcionando às pessoas com deficiência motora maior acessibilidade e independência. Para isso foi utilizada uma metodologia de cálculo para encontrar coeficientes de segurança para os pontos visivelmente mais solicitados da estrutura, com o auxílio de softwares. Ao decorrer do projeto foi realizada a montagem da estrutura com seus acessórios e componentes. Por fim foram obtidos resultados satisfatórios em relação à construção de um protótipo adaptado, com uma estrutura rígida, dispositivos de fixação funcionais e comportamento adequado do modelo de automatização utilizado.

Palavras-chave: tecnologia assistiva; acessibilidade; protótipo; cadeira de rodas automatizada; Policloreto de Vinila.

ABSTRACT

This work presents the process of designing, constructing and testing off an automated wheelchair prototype, an important assistive technology equipment, using as a principle the design of a wheelchair for children. For a lower cost was used as construction material the rigid PVC. The concept of the project was studied, together with the necessary equipment to apply it. A structural analysis was performed to know the behavior of the structure when requested, providing security. It was structurally verified and dimensioned to allow a greater load capacity, being able to accommodate adults, giving people with motor disabilities greater accessibility and independence. For this, a calculation methodology was used to find security coefficients for the most requested points of the structure, with the aid of softwares. During the project the assembly of the structure with its accessories and components was carried out. Finally, satisfactory results were obtained in relation to the construction of an adapted prototype, with a rigid structure, functional fastening devices and adequate behavior of the automation model used.

Keywords: assistive technology; accessibility; prototype; automated wheelchair; Polyvinyl chloride.

1. INTRODUÇÃO

A acessibilidade é uma necessidade básica para os indivíduos de uma sociedade. O direito de ir e vir e a independência pessoal são requisitos simples na vida de qualquer pessoa. Porém, nem sempre estas condições tão básicas são oferecidas à sociedade, afetando os indivíduos e suas vidas. Quando se trata de pessoas com deficiência, essa situação torna-se mais grave. Alguns fatores dificultam o acesso

dos indivíduos às tecnologias, dificuldades financeiras e a falta de informação são os mais comuns. Esses fatores restringem as pessoas dessas alternativas para uma vida melhor.

A Tecnologia Assistiva (TA) é uma área de pesquisa, análise e desenvolvimento que tem como objetivo oferecer auxílio às pessoas que possuem as mais variadas formas de deficiências. Bersch (2017) exemplifica que este tipo de tecnologia é semelhante às ferramentas que utilizadas no cotidiano, como um veículo, com a finalidade de tornar a vida mais fácil. Segundo Mendes e Tibúrcio (2016), se os projetos das TA fossem aplicados de forma mais particular aos indivíduos, os mesmos desfrutariam de uma melhor interação entre equipamento e ambiente.

Bersch (2017) diz ainda que definir Tecnologia Assistiva em classificações permite que haja a organização dos estudos relacionados à esta área. Dos diferentes modos de TA, este trabalho irá abordar a mesma aplicada à mobilidade, mais especificamente às cadeiras de rodas, que são equipamentos bem conhecidos de auxílio à pessoas com deficiência. Na categoria de mobilidade, os modelos de cadeiras de rodas existentes são inúmeros. Partem de cadeiras manuais desmontáveis para que possam ser carregadas em veículos, até modelos mais tecnológicos com sistemas de controle e acessórios que possibilitam maior conforto e acessibilidade ao usuário. Como a faixa de categorias e modelos é muito ampla, logo o custo também varia. Alternativas vem sendo estudadas para que o custo, levando em consideração a relação necessidade/conforto, esteja em uma faixa de valores que possibilite um maior acesso de quem precisa deste tipo de assistência.

Uma das maneiras de tornar possível esta opção é a utilização de um material estrutural mais barato e não comumente utilizado nesse tipo de aplicação, o PVC (Policloreto de Vinila). Trata-se de um material da classe dos polímeros, utilizado em tubulações residenciais e industriais, geralmente, para conduzir água. A relação citada anteriormente, necessidade/conforto, buscará ser obtida com a automatização associada ao material estrutural de baixo custo.

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver o projeto e construir o protótipo de uma cadeira de rodas automatizada utilizando, como material estrutural, tubos de PVC, tornando possível um maior acesso de pessoas a esses recursos, uma vez que o enfoque será a aplicação do conceito à pessoas adultas.

1.1. Tecnologia Assistiva: Conceitos e categorias

Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), órgão da Secretaria Especial de Direitos Humanos (SEDH, 2009, p. 9), define o conceito brasileiro de Tecnologia Assistiva:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacitadas ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

Não só pessoas com deficiência dependem da acessibilidade. No caso da mobilidade, idosos, gestantes, pessoas que sofreram acidentes e tornaram-se impossibilitadas de certa movimentação, também dependem deste direito. Desta forma, cerca de 43,5% da população brasileira necessita de auxílio à mobilidade (SEDH, 2009). Uma classificação dos diferentes tipos de Tecnologia Assistiva, apresentada por Bersch (2017), de acordo com as necessidades dos indivíduos, é a seguinte:

- Auxílios para a vida diária e vida prática;
- CAA: Comunicação Aumentativa e Alternativa;
- Recursos de acessibilidade ao computador;
- Sistemas de controle de ambiente;
- Projetos arquitetônicos para acessibilidade;
- Órteses e próteses;
- Adequação postural;

- Auxílios de mobilidade;
- Auxílios para ampliação da função visual e recursos que traduzem conteúdos visuais em áudio ou informação tátil;
- Auxílios para melhorar a função auditiva e recursos utilizados para traduzir os conteúdos de áudio em imagens, texto e língua de sinais;
- Mobilidade em veículos;
- Esporte e lazer.

1.2. Auxílios de mobilidade – Cadeiras de rodas

Mendes e Tibúrcio (2016) afirmam que qualquer equipamento que facilite a locomoção de uma pessoa portadora de deficiência de mobilidade pode ser considerado um equipamento de Tecnologia Assistiva de auxílio de mobilidade. Nesta categoria destacam-se as cadeiras de rodas, que tem sido fundamentais à TA por ser indispensáveis para pessoas motora ou fisicamente deficientes. Estas podem ser divididas em manuais e motorizadas (ALVES, 2011).

Há inúmeros modelos, desde os mais simples até os mais sofisticados. A melhor qualidade oferecida ao usuário se deve ao desenvolvimento de acessórios, de uma melhor estrutura, para o conforto e segurança do mesmo. Um quadro de uma cadeira pode ter tipologias distintas (BATAVIA, 2010). Segundo Esteves (2011), o quadro pode ser rígido, ou dobrável. Esteves (2011) afirma ainda que o quadro rígido apresenta maior estabilidade. Porém, as cadeiras dobráveis facilitam o transporte em veículos. A diferença entre as tipologias de quadros pode ser observada comparando a Figura 1 (a) e (b).



Figura 1 – Exemplos de cadeiras de rodas manuais. Em a) Cadeira de rodas ativa, com quadro rígido e não desmontável, em b) cadeira de rodas passiva dobrável, com quadro em forma de cruz, em c) Cadeira de rodas motorizada *Jaguar* infantil de aço com estrutura monobloco. Extraído de EXPO (2018).

Cadeiras de rodas elétricas ou motorizadas buscam amenizar os esforços nos membros superiores dos cadeirantes. Freedom (2018), explica que este tipo de cadeira realiza movimentos através de uma motorização. Afirmar ainda que estas são uma opção bem aplicada àquelas com maior comprometimento de seus membros superiores, o que dificulta que o próprio usuário realize esforços para movimentar a cadeira.

Motores instalados na estrutura recebem comandos eletrônicos, permitindo a obediência aos movimentos de um joystick (FREEDOM, 2018). Baterias são utilizadas como fonte de energia. As cadeiras motorizadas também possuem as opções de serem rígidas ou dobráveis. As dobráveis mais fáceis para transporte e as rígidas possibilitando maior autonomia, devido à possibilidade da instalação de baterias maiores. A Figura 1 (c) apresenta um modelo de cadeira de rodas motorizada infantil de quadro rígido, isso torna a estrutura mais resistente às solicitações que lhe são impostas.

1.3. Protótipo Open Wheelchair Foundation

A *Open Wheelchair Foundation* é uma organização norte americana que fornece o projeto de cadeiras de rodas de baixo custo a preços acessíveis para crianças (FOUNDATION, 2015). Há também um projeto semelhante desenvolvido pelas universidades brasileiras UFABC e UNIFESP que cria e disponibiliza cadeiras para crianças da faixa etária de 3 a 6 anos, uma vez que o Sistema Único de Saúde (SUS) não fornece cadeiras para crianças de idade inferior a 12 anos (FORENSE, *et al.*, 2015).

O projeto *Open Wheelchair Foundation* trata-se de uma cadeira infantil, denominada aberta, construída com tubos de PVC e automatizada. A mesma é de baixo custo por usar este polímero em sua estrutura, possibilitando facilidade para obtenção do material e facilidade de construção da cadeira para diversos tipos de público. O protótipo utiliza também um sistema de *joystick* para controle, fixadores (parafusos e abraçadeiras) e motores individuais nas rodas dianteiras. O protótipo da *Open Wheelchair Foundation* segue uma lista simples de ferramentas e peças a serem utilizadas para a construção do equipamento (FOUNDATION, 2015). A Figura 2 apresenta um exemplo de cadeira de rodas da *Open Wheelchair Foundation*.



Figura 2 - Protótipo de cadeira de rodas de baixo custo *Open Wheelchair Foundation*.
(Fonte: FOUNDATION, 2015)

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho buscou, inicialmente, adaptar o projeto fornecido pela *Open Wheelchair Foundation* para os materiais e equipamentos disponíveis na região de Passo Fundo/RS. Além disso, realizou-se um estudo estrutural a fim de verificar se o material seria capaz de suportar as cargas impostas a cadeira em diferentes condições de utilização. Assim, utilizaram-se fases e etapas de diferentes metodologias de projeto em engenharia oriunda de vários autores. De maneira simplificada, as etapas de trabalho seguiram a sequência apresentada na Figura 3.

O trabalho iniciou com a busca dos referenciais básicos e o reconhecimento do problema. Foram estabelecidos os princípios básicos de projeto, características as quais o produto deveria conter e não deveria possuir, sendo que a partir dessa base de dados foi possível elaborar uma lista de requisitos técnicos de projeto. Partiu-se para o projeto da estrutura da cadeira de rodas, o qual iniciou pelo projeto da forma, a qual teve de ser adaptada em função da disponibilidade de tubos e conexões que não são vendidos no Brasil. Finalizada a forma e a seleção dos componentes a serem utilizados, foi possível realizar o dimensionamento estrutural em três situações hipotéticas de utilização.

Finalizado o projeto estrutural, deu-se início ao anteprojeto, no qual realizaram-se a seleção dos demais componentes e peças da cadeira, bem como no dimensionamento e projeto de acessórios e

adaptações necessárias para o bom funcionamento e utilização da mesma. Efetuaram-se ainda os cálculos técnicos para motores, eixos e rolamentos bem como o projeto eletrônico do comando automatizado da cadeira. Todas as peças e componentes que necessitavam ser fabricadas foram detalhadas, através da obtenção de desenhos técnicos de fabricação, bem como na realização no projeto da montagem do produto.



Figura 3 – Metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho.

Por fim, realizou-se a montagem do protótipo, a qual foi iniciada pela estrutura, seguida pela fabricação dos encaixes de conexões e adaptações de encaixes e montagem dos acessórios. Dessa forma, foi possível realizar a montagem da parte eletrônica e efetuar os testes com o protótipo construído.

3. RESULTADOS

3.1. Projeto informacional

Esta fase tem como resultado o esclarecimento da tarefa a ser realizada, assim como o seu método de concepção, que pode ser realizada através de uma lista de requisitos de projeto. Esta, tem por objetivo apontar as principais características que o produto necessita possuir, podendo ser classificados como exigência (E) ou desejo (D) (PAHL, *et al.*, 2005). O Quadro 1 apresenta a lista de requisitos para a cadeira de rodas automatizada de baixo custo.

Quadro 1 - Lista de requisitos de projeto.

Data	E/D	Requisitos
		1. Geometria: estrutura tubular PVC rígido
05.05.2018	E	Largura = 560 mm
05.05.2018	E	Altura total = 636 mm
05.05.2018	E	Altura descanso braço = 636 mm
05.05.2018	E	Altura assento = 406 mm
05.05.2018	E	Distância solo = 70 mm
05.05.2018	E	Comprimento total = 1059 mm
05.05.2018	E	Diâmetro dos tubos = 50 mm
05.05.2018	E	Espeçura tubos = 3 mm
05.05.2018	E	Curva 90° padrão = 50 mm
		2. Cinemática:
05.05.2018	E	Tee padrão 50 mm
05.05.2018	E	Direção de deslocamento = horizontal e inclinada
05.05.2018	E	Movimento linear e giratório
		3. Forças:
05.05.2018	E	Velocidade constante
		4. Energia:
05.05.2018	E	Capacidade de carga = 100 kg
		5. Material:
05.05.2018	E	Bateria 12V
		Motores com caixa de redução
05.05.2018	E	Tubos de PVC rígido
		Chapas de Aço SAE 1020

3.2. Projeto Estrutural

O princípio do projeto foi realizado através da adaptação da forma da estrutura em função dos componentes (conexões padronizadas) disponíveis no mercado especializado. Um *software* para projeto 3D foi utilizado para projetar a estrutura tubular do protótipo. A criação parte da união de seus elementos, tubos, curvas de 90° e tees, com o padrão de 50 mm de tubos e conexões. A estrutura do protótipo sem os acessórios e, ilustrativamente, o mesmo representado quando concluído são representados na Figura 4 (a) e (b).

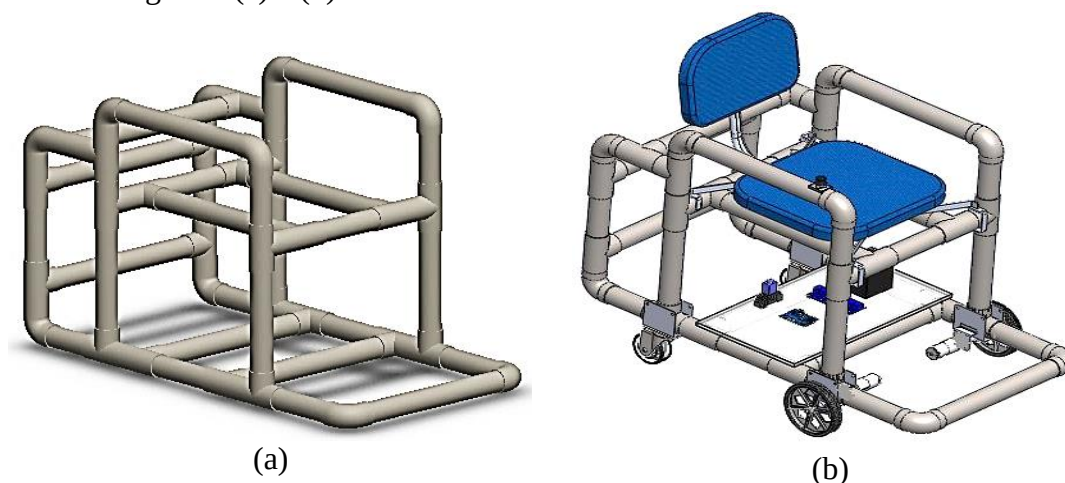


Figura 4 – Projeto da forma da estrutura tubular. Em a) estrutura tubular de PVC isolada e em b) Protótipo ilustrativamente concluído com todos os seus componentes.

É possível observar que, em alguns pontos de ligação da estrutura, foram realizados ajustes com conectores o mais próximo possível entre si para que a reação da estrutura quanto aos esforços seja semelhante à do protótipo utilizado como base. Para o conhecimento das dimensões são apresentadas as projeções ortográficas da estrutura com suas cotas principais na Figura 5.

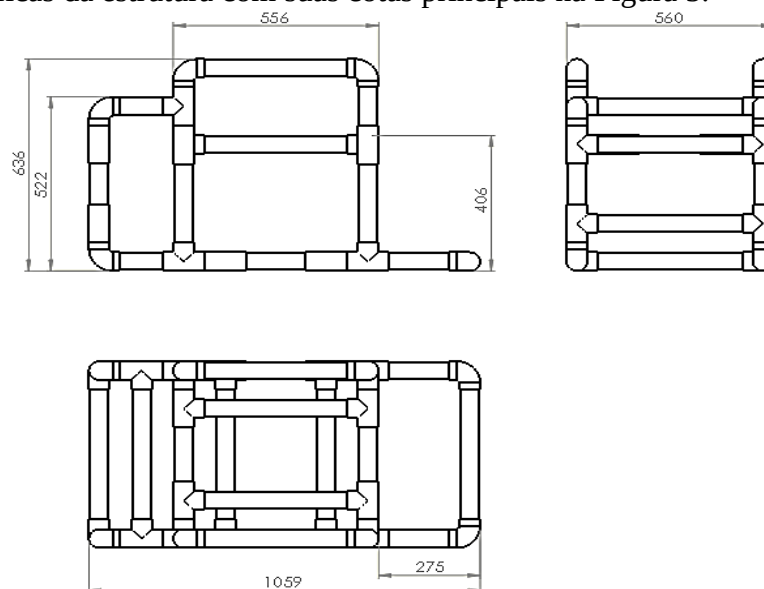


Figura 5 - Projeto da forma da estrutura tubular em PVC da cadeira de rodas automatizada (medidas em milímetros).

3.2.1. Análise estrutural

Esta etapa do projeto tem por objetivo verificar se a estrutura projetada possui resistência mecânica suficiente para receber as solicitações que lhe serão empregadas. Como ferramenta de análise das cargas e deformações foi utilizado o *software Ftool*. Considerando o formato da estrutura do protótipo e de como os esforços são aplicados, basicamente na vertical, dividiu-se a estrutura em forma de pórticos. A porção de carga aplicada, levando em consideração os pontos de contato com a estrutura, associada a um diâmetro maior, permite verificar se a estrutura é capaz de exercer a finalidade para a qual foi projetada. A estrutura da cadeira foi dividida em:

- Situação 1: pórtico lateral com carga no braço (simula a pessoa apoiando-se na cadeira para se sentar);
- Situação 2: pórtico lateral com carga no assento (simula a pessoa sentada na cadeira);
- Situação 3: pórtico lateral com uma carga atuando nos elementos verticais, localizados abaixo do assento (simula uma condição de inclinação da cadeira, analisando a flexão do segmento de tubo vertical).

As três situações podem ser observadas na Figura 6 (a), (b) e (c).

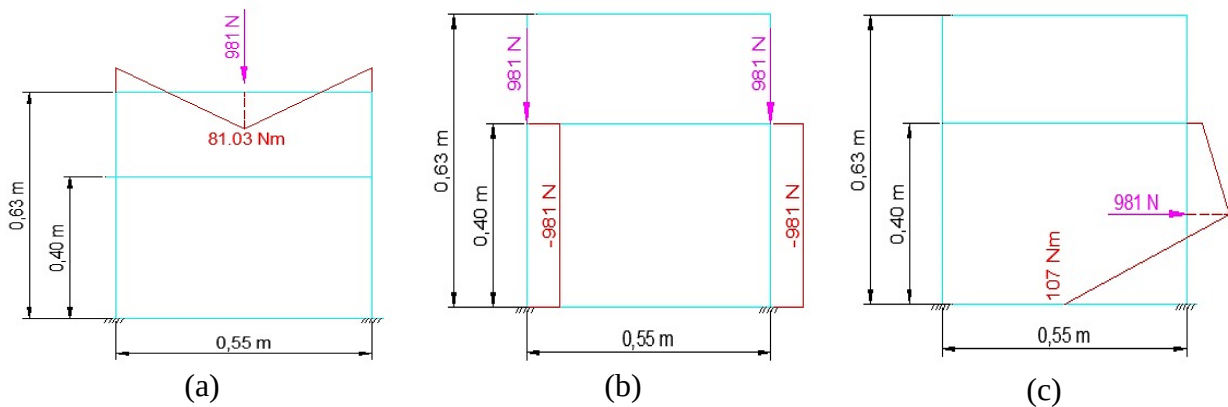


Figura 6 – Diagramas de esforços e momentos gerados na estrutura tubular. Em a) simula a situação 1, em b) a situação 2 e em c) a situação 3.

Como o protótipo é simétrico, ambos os lados possuem a mesma análise, sendo representados igualmente. Utilizando a Lei de Hooke é possível verificar que o material se comporta de maneira frágil, podendo se estabelecer como teoria de falha a teoria de Coulomb Mohr Frágil (SHIGLEY, *et. al*, 2005).

O padrão de tubos e conexões escolhido para a construção do protótipo, visando garantir determinada segurança sob os esforços, foi o de 50 mm. Com os modelos de conexões disponíveis no mercado, foi possível manter o modelo estrutural semelhante à estrutura da cadeira infantil utilizada como base. Os resultados dos cálculos realizados, utilizando os dados resultantes do modelo analisado no *software Ftool* são apresentados na Tabela 1.

É possível observar que nos três casos em que o protótipo foi analisado, simulando os movimentos que uma pessoa faria ao se sentar na cadeira e na situação de uma inclinação, o mesmo atendeu ao requisito de resistir às solicitações que lhe foram impostas. Isto pode ser observado nos coeficientes de segurança de projeto, para flexão e compressão.

Tabela 1 – Resultados da análise estrutural.

Tabela 1 – Resultados da análise estrutural.

MÉTODO DE ANÁLISE EM FORMA DE PÓRTICOS		
Dados para obtenção dos coeficientes de segurança (n)		
Momento fletor (Nmm)	Situação 1	81030
	Situação 3	107000
Distância radial de análise c (mm)	25	
Inércia (mm ⁴)	122811,82	
Força (N)	981	
Área (mm ²)	442,96	
Tensão última utilizada para PVC rígido (MPa) = 45		
Situação 1	Situação 2	Situação 3
Tensão de flexão: 16,49 MPa	Tensão de compressão: 2,21 MPa	Tensão de flexão: 21,78 MPa
n = 2,72	n = 20,31	n = 2,06

3.3. Anteprojeto

3.3.1. Dimensionamento dos motores

Segundo Neto, et al. (2013), quando um corpo é indeformável e está sob ação de uma força de tração, o mesmo em rolamento sem escorregamento, o atrito é nulo. Mas, Neto, et al. (2013) explica também que, quando um corpo é deformável, há um coeficiente de resistência ao rolamento, isto ocorre porque há um deslocamento do centro de massa que está sob velocidade constante, ou seja, o ponto de reação à carga aplicada sofre um deslocamento em relação ao ponto inicial (centro da roda). Sendo assim, considerando que o peso do boneco de ensaio normatizado é significativo e mesmo que o pneu utilizado seja rígido, ocorre uma certa deformação, logo optou-se por considerar essa deformação. A Figura 7 apresenta um esquema dos esforços e considerações realizadas.

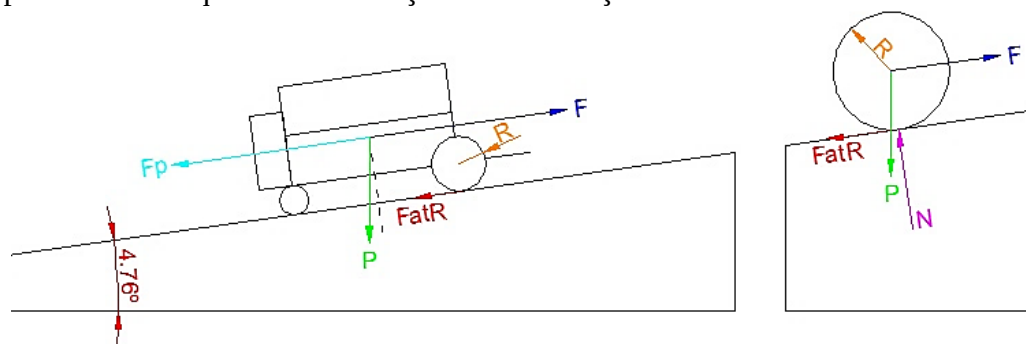


Figura 7 - Esforços e considerações para obtenção do torque.
(Fonte: O Autor, 2018)

Segundo Neto, et al. (2013), o equacionamento utilizado, apenas com a adição da componente da força peso, é o seguinte:

$$F = F_p + F_{atR} \quad (1)$$

$$F_{atR} = N * \mu_R \quad (2)$$

Onde, na Equação 1, F é a força que produz o torque, F_p é a componente do peso total no plano inclinado e F_{atR} é a força de atrito ao rolamento. Na Equação 2, observa-se que a F_{atR} é o produto da

força normal N pelo coeficiente de atrito ao rolamento μ_R . O coeficiente de atrito ao rolamento é desconhecido para a situação em questão, utilizando-se a informação mais semelhante possível encontrada. No caso do pneu de um automóvel em contato com asfalto, este valor é de aproximadamente 0,01 (NETO, et al. 2013). Através deste equacionamento, foi possível obter um torque teórico necessário de 45,52 kgf cm, considerando uma pessoa de 100 kg e uma inclinação máxima de 8,33% (de acordo com a NBR 9050).

3.3.2. Seleção dos componentes

As baterias com maior capacidade de Amperes hora (Ah) e com maior resistência à quantidades de ciclos disponíveis atualmente no mercado são VRLA e GEL, devido as suas configurações e composições químicas (FREEDOM, 2018). Porém, visando o baixo custo, podem ser utilizadas baterias seladas. A bateria selecionada para este projeto é o modelo UP1290 *Unipower* chumbo/ácida selada VRLA, com tensão nominal de 12V e capacidade nominal de 9Ah.

A placa eletrônica de controle selecionada para este projeto é do tipo Arduino, uma vez que a placa eletrônica utilizada pela *Open Wheelchair Foundation*, conforme a entidade, apresenta problemas. Foi escolhida por ser relativamente simples de ser programada e associada a outros dispositivos. A ampla quantidade de projetos em que o Arduino é utilizado também justifica a escolha do mesmo.

É necessário um equipamento de controle da cadeira que seja de fácil manipulação para o usuário, então é utilizado um *joystick*. O modelo utilizado é diretamente associado à placa Arduino, o *Joystick Arduino 3 Eixos*. As direções de movimento X e Y são controladas nos movimentos laterais e longitudinais, já a direção Z é obtida pressionando o controlador.

O par de rodas dianteiras do protótipo deve ser fixo, as mesmas vão receber movimento do eixo do motor e devem manter a estrutura aproximadamente 70 mm distante do solo. O modelo de roda utilizado é o de pneu maciço de 6” com a aro de 6 raios da fabricante Ortobrás. A mesma já é acompanhada de rolamento, 608z.

As rodas traseiras devem permitir que o protótipo possa ser manobrado. Para isso ser possível, rodízios giratórios foram selecionados, contribuindo para alcançar um custo final baixo. O modelo escolhido é o rodízio giratório Vonder leve de poliuretano 3” transparente com altura total de 92 mm e capacidade de carga de 55kg.

3.3.3. Projeto dos acoplamentos das rodas a estrutura

Para as rodas traseiras, foram selecionados rodízios, que deveriam ser fixados na estrutura. Para isso, foi necessário projetar um suporte de fixação. O ajuste é realizado através de dois parafusos que, quando apertados, dão rigidez ao dispositivo, evitando que o mesmo tenha movimento radial e axial em relação ao tee em que estará fixado. O dispositivo utiliza a seu favor a geometria da conexão tee, uma vez que a mesma possui arestas que contribuem para a fixação do mesmo. A Figura 8 (a) e (b) apresentam o dispositivo em sua função.

Para as rodas dianteiras, realizou-se um projeto semelhante, porém com a particularidade de necessitar fixar, além das rodas, os motores e tornar possível a transmissão de movimento para as rodas dianteiras. O suporte do motor é soldado ao suporte da roda e sua geometria propicia a fixação axial do motor, suficiente para que o mesmo possua rigidez para transmitir o movimento de rotação e a fixação axial do motor é realizada através de quatro parafusos. Há uma abertura no suporte para compensar a excentricidade do eixo do motor.

Para a transmissão de movimento há um suporte cilíndrico fixado com o auxílio de duas cantoneiras abaixo do suporte da roda e centralizado em relação ao mesmo. No interior do mesmo há dois rolamentos 608z, remanescentes das rodas, que suportam a carga radial gerada pelo peso, assim é possível que um eixo acoplado ao eixo do motor e à roda transmita o movimento de rotação. O

acoplamento entre o eixo do motor e o eixo da roda é realizado através de um dispositivo que possui um parafuso de regulagem no sentido radial.

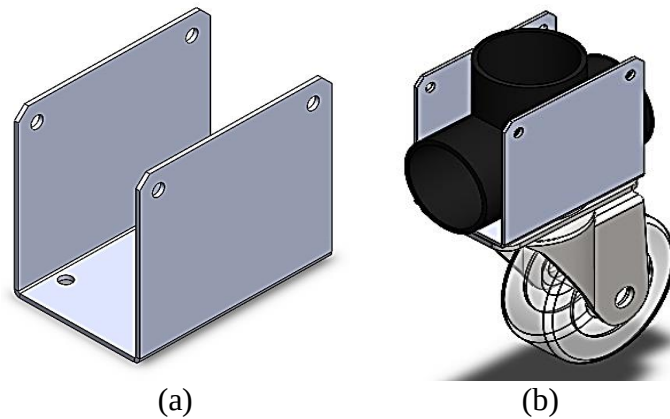


Figura 8 – Projeto da conexão das rodas traseiras com a estrutura. Em a) dispositivo de fixação das rodas traseiras, em b) união de rodízio e conexão tee ao dispositivo de fixação.

Tanto a extremidade do eixo do motor, quanto a extremidade do eixo da roda, possuem um rebaixo que, quando o parafuso de regulagem sofre o aperto, trava o giro dos eixos em relação ao acoplamento. Para a fixação da roda, é utilizada rosca na extremidade oposta do eixo, tornando possível a fixação. Assim, todos os elementos giram como se fossem um só. A Figura 9 (a) e (b) apresenta estes elementos individualmente e reunidos para exemplificar o funcionamento.

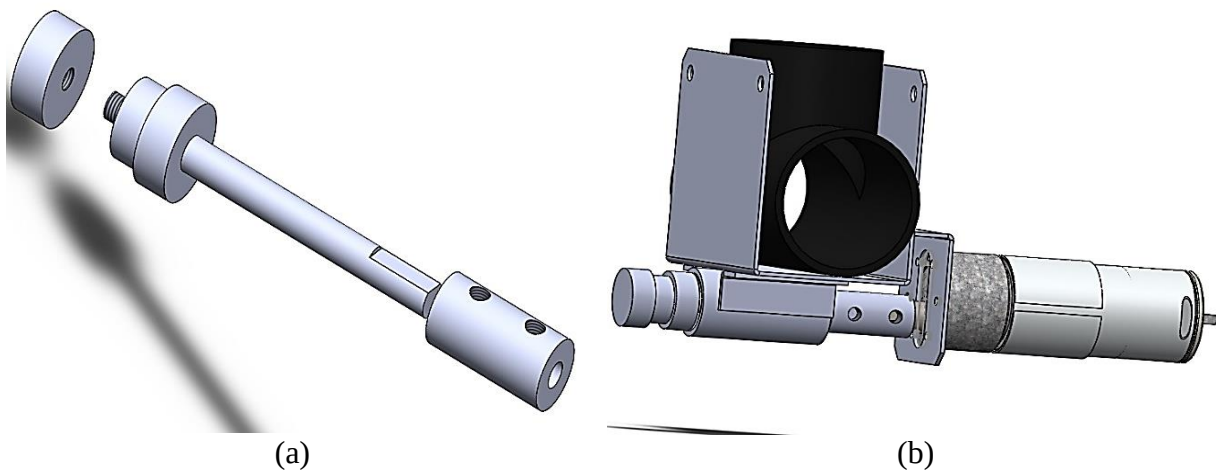


Figura 9 – Projeto da conexão das rodas dianteiras com a estrutura de PVC. Em a) eixo constituído por acoplamento e extremidade roscada, em b) suporte de fixação dianteiro completo.

(Fonte: O Autor, 2018)

3.3.4. Projeto do comando eletrônico

O sistema consiste na alimentação, através de uma bateria de 12V e 9Ah, com 5Vcc uma placa Arduino UNO R3 que tem a função de comandar uma placa de relés que determina os sentidos de giro dos dois motores que equipam o protótipo. Uma vez que há uma diferença significativa de tensão entre a bateria utilizada e a memória de dados Arduino, para ser possível alimentá-la, foi utilizado um regulador de tensão da faixa de 1,2V a 37V para chegar na tensão requerida pelo Arduino.

A placa de relés e o joystick são alimentados pelo próprio Arduino, já os motores são alimentados pela bateria do sistema. Para realizar os comandos necessários de alimentação dos motores, foram utilizadas a programação em “C” do sistema Arduino e a lógica de relés na estruturação da fiação de

comando dos motores. O funcionamento do sistema, bem como a ligação dos componentes, transmissão de energia e sinal, podem ser observados na Figura 10.

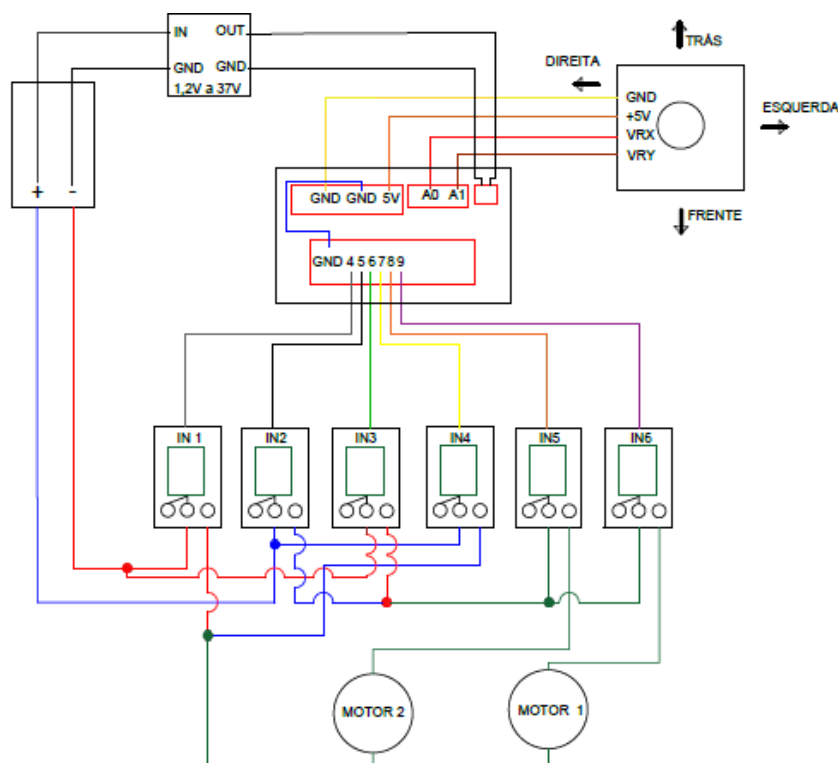


Figura 10 - Esquema de funcionamento do comando eletrônico da cadeira de rodas automatizada.

Observando a Figura 10, compreendem-se as funções realizadas pelo protótipo em cada posição de comando, as mesmas são descritas a seguir.

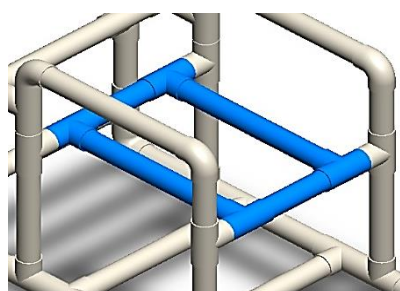
- **Posição inicial:** Com o *joystick* na posição central, nenhuma das saídas do Arduino são acionadas.
- **Posição para frente – Ligar:** Movimentando o *joystick* para frente, acionam-se as saídas 4, 5, 8 e 9 do Arduino.
- **Posição para frente – Desligar:** Retornando o *joystick* para a posição central, todas as saídas relés do Arduino são desligadas e, com isso, os relés da placa são desligados.
- **Posição para trás – Ligar:** Movimentando o *joystick* para trás, acionam-se as saídas relés 6, 7, 8 e 9 do Arduino.
- **Posição para trás – Desligar:** Retornando o *joystick* para a posição central, todas as saídas relés do Arduino são desligadas e, com isso, os relés da placa são desligados.
- **Posição para direita – Ligar:** Movimentando o *joystick* para à direita, acionam-se as saídas relés 4, 5 e 8 do Arduino.
- **Posição para direita – Desligar:** Retornando o *joystick* para a posição central, todas as saídas relés do Arduino são desligadas e, com isso, os relés da placa são desligados.
- **Posição para esquerda – Ligar:** Movimentando o *joystick* para à esquerda, acionam-se as saídas relés 4, 5 e 9 do Arduino.
- **Posição para esquerda – Desligar:** Retornando o *joystick* para a posição central, todas as saídas relés do Arduino são desligadas e, com isso, os relés da placa são desligados.

Seguindo esta lógica de movimentação do *joystick*, são realizados os comandos necessários para a movimentação do protótipo.

3.4. Fabricação do protótipo

Definiu-se uma maneira para montar a estrutura para tornar o processo mais simples. Primeiramente a estrutura foi dividida em subconjuntos, esses que devem ser montados separadamente, são eles: Base Assento; Laterais; Traseira e Frente. Após a obtenção de cada subconjunto, os mesmos devem ser unidos para se obter a estrutura final do protótipo.

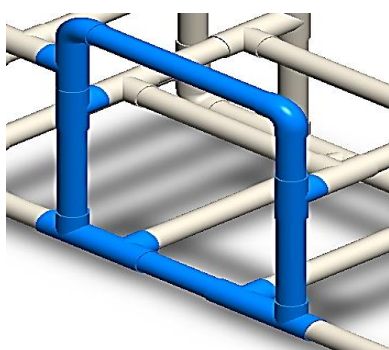
A montagem da **Base Assento** deve ser realizada na forma de um retângulo, formado com a união de dois tubos de 209 mm transversais à estrutura e dois tubos de 438 mm longitudinais, utilizando-se os tees, conforme mostra a Figura 11.



Peça	Quantidade
Tee	4
Tubo de 209 mm	2
Tubo de 438 mm	2

Figura 11 - Base assento da estrutura e seus subcomponentes.

Ambas as **Laterais** são iguais. O tubo de 438 mm deve possuir uma curva em cada extremidade, de um lado haverá a união da curva com o tubo de 176 mm, este será unido a um tee defasado de 90° do plano em que está sendo montada a lateral, a união segue com um tubo de 290 mm que será encaixado a outro tee. Este tee será ligado a um semelhante também defasado de 90° do plano de montagem, este será unido a um tubo de 198 mm que será unido a outro tee defasado, este unido a outro semelhante que receberá o encaixe de outro tubo de 290 mm. Por fim são unidas três conexões, um tee novamente defasado, um tee com uma extremidade voltada para a traseira da estrutura e a ele uma curva na extremidade do primeiro tubo mencionado, assim obteve-se uma lateral conforme a Figura 12.

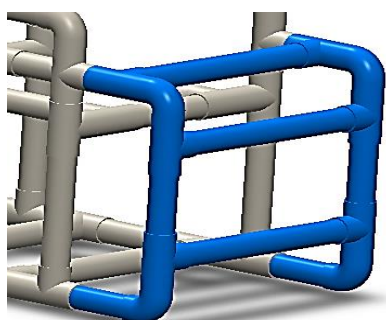


Peça	Quantidade
Tee	7
Curva	2
Tubo de 290 mm	2
Tubo de 198 mm	1
Tubo de 176 mm	1
Tubo de 64 mm	4

Figura 12 – Parte lateral da estrutura e seus subcomponentes.

A traseira foi dividida em dois lados, estes unidos posteriormente pelos tubos transversais de ligação da estrutura. De cima para baixo cada lado inicia e termina encaixado em cada lateral. A montagem inicia com um tee conectado à uma curva, posteriormente à curva há outro tee, após o mesmo é conectado um tubo de 171 mm. Após o tubo há um tee conectado à uma curva que por fim é conectada em um tubo de 174 mm, sendo cada tee defasado de 90° em relação ao plano de montagem. O lado

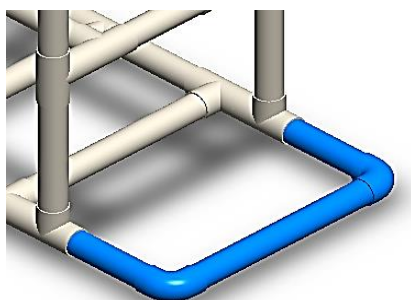
oposto da traseira possui o mesmo método de montagem, uma vez que as extremidades livres de cada tee são utilizadas para encaixar os três tubos de 444 mm. Desta forma obteve-se a traseira do protótipo, conforme a Figura 13.



Peça	Quantidade
Tee	6
Curva	4
Tubo de 171 mm	2
Tubo de 174 mm	2
Tubo de 64 mm	6

Figura 13 – Parte traseira da estrutura e seus subcomponentes.

A montagem da **Frente** da estrutura parte da união de três tubos com duas curvas. Um tubo de 224 mm é unido à uma curva, esta é unida a um tubo de 444mm que é conectado à outra curva que se conecta a outro tubo de 224 mm. Conforme a Figura 14, foi obtida a frente do protótipo.



Peça	Quantidade
Curva	2
Tubo de 224 mm	2
Tubo de 444 mm	1

Figura 14 – Parte frontal da estrutura e seus subcomponentes.

Após a montagem dos subconjuntos é possível fazer a união dos mesmos, tubos de 64 mm de comprimento foram utilizados para unir os subconjuntos quando a união é de duas conexões de um subconjunto para o outro. Então, foi obtido o conjunto tubular real. Na união de todas as peças deve ser utilizado adesivo para união de tubos e conexões de PVC rígido. As Figura 15 (a) e (b) apresentam a estrutura tubular real concluída.



(a)



(b)

Figura 15 - Estrutura tubular real do protótipo.

Após realizar a montagem da estrutura, todos os demais componentes foram fixados e instalados na mesma, possibilitando a fabricação completa do protótipo, possibilitando colocar este em funcionamento. Uma imagem do protótipo construído é apresentada na Figura 16.



Figura 16 - Protótipo concluído.

Estes são os resultados obtidos com o desenvolver do projeto. O custo total para a fabricação do protótipo foi de R\$ 1.150,00 (dados de novembro de 2018), valor que pode ser considerado baixo em relação aos modelos de cadeiras de rodas motorizadas existentes no mercado.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um projeto de uma cadeira de rodas automatizada de baixo custo, que tem como objetivo principal promover o acesso à tecnologia a um maior número de pessoas. Para isso, foram estudados outros projetos semelhantes ao desenvolvido, inclusive com maior ênfase ao projeto utilizado como base, a cadeira infantil de PVC da *Open Wheelchair Foundation*.

Neste sentido, foram verificados elementos e dispositivos de construção para a obtenção do protótipo. Assim foi possível verificar a indisponibilidade de alguns modelos de conexões no mercado, necessitando o projeto de uma adaptação na estrutura. Após a verificação, foi desenvolvido um projeto estrutural adaptado. O mesmo contou com análise estrutural, seleção de componentes, dimensionamento de motores, desenvolvimento de dispositivos de fixação e adaptações em equipamentos já existentes, resultando em um projeto detalhado.

Com o projeto desenvolvido foi possível realizar a construção do mesmo. As etapas foram seguidas com as determinações estipuladas no projeto. Assim, foi possível a obtenção do protótipo de cadeira de rodas. Após construído, o protótipo passou por testes de solicitação no qual a estrutura tubular de PVC comportou-se como o esperado em relação aos resultados da análise estrutural. Os dispositivos de fixação também apresentaram comportamento adequado ao esperado, uma vez que propiciaram uma mobilidade, capacidade de manobra, transmissão de movimento e conforto ao utilizar o protótipo. Quanto à parte de automatização, a mesma passou por vários testes, sofrendo algumas correções para o melhor funcionamento dos equipamentos utilizados, estes equipamentos apresentando um funcionamento adequado em conjunto.

Após os estudos realizados no decorrer do desenvolvimento do projeto, com a obtenção de conhecimentos teóricos e práticos, uma maior visão sobre o assunto Tecnologia Assistiva e cadeiras de

rodas automatizadas, foi possível perceber a importância desta área e o quanto é necessário o desenvolvimento da mesma para auxiliar a população de pessoas que necessita diretamente de equipamentos de auxílio, neste caso, auxílio de mobilidade. Com os resultados obtidos, foi possível observar que é possível aproximar-se da qualidade e funcionamento de cadeiras de rodas comercializadas utilizando materiais considerados incomuns à esta aplicação, como o PVC rígido. Porém, a aplicação de materiais mais baratos mostrou que pode tornar possível que pessoas de baixa renda alcancem o direito de acessibilidade e, em alguns casos, a dignidade, uma vez que possam se deslocar de maneira independente.

AGRADECIMENTOS

Ao senhor Juliano Pitoni, da empresa Espaço Pilates, pelo patrocínio para a construção do protótipo e ao senhor Francisco Cardoso Rios, pelo auxílio no desenvolvimento na programação do comando eletrônico da cadeira de rodas.

5. REFERÊNCIAS

ABNT 9050. **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 97. 2004.

ALVES, J. O. **Protótipo de Sistema Automotor para Cadeira de Rodas**. Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia. Guaratinguetá, p. 160. 2011.

BATAVIA, M. **The Wheelchair Evaluation: A Clinician's Guide**. 2ª. ed. London, UK: Sudbury, 2010.

BERSCH, R. Introdução à Tecnologia Assistiva, Porto Alegre, 2017. 20.

ESTEVES, A. L. F. **Desenvolvimento de uma Cadeira de Rodas Manual Adaptável**. Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Mecânica. Aveiro, p. 112. 2011.

EXPO, M. Auxílio à mobilidade. **Site da Medical Expo**, 2018. Disponível em: <<http://www.medicalexpo.com/pt/prod/off-carr/product-113230-759850.html>>. Acesso em: 07 Abril 2018.

FORENSE, G. D. B. E.; ICT, I. D. C. E. T.; UNIFESP, U. F. D. S. P. CRIA - Cadeira de Rodas Infantil Automatizada. **Biomecânica e Forense**, 2015. Disponível em: <<https://www.biomecanicaeforense.com/cria>>. Acesso em: 18 Março 2018.

FOUNDATION, O. W. Open Wheelchair Plans. **Open Wheelchair Foundation**, 2015. Disponível em: <<https://www.openwheelchair.org/Plans/>>. Acesso em: 18 Março 2018.

FREEDOM. Blog sobre mobilidade, cadeiras de rodas e veículos elétricos. **Freedom**, 2018. Disponível em: <<http://blog.freedom.ind.br/conheca-os-tipos-de-cadeiras-de-rodas-para-diferentes-deficiencias/>>. Acesso em: 07 Abril 2018.

MENDES, R. B.; TIBÚRCIO, T. M. D. S. Cadeira de Rodas Manual: O Impacto dos Problemas Relacionados a Tecnologia Assistiva na Melhoria da Qualidade de Vida de Pessoas com Mobilidade Reduzida. **Artefactum – Revista de Estudos em Linguagem e Tecnologia**, n. 01/2016, p. 11, Janeiro 2016.

NETO, A. V. A. et al. Rolamento e atrito de rolamento ou por que um corpo que rola pára. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Feira de Santana, v. 35, n. 3, p. 4, setembro 2013.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia**: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. 6ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

SEDH, S. E. D. D. H. **Tecnologia Assistiva**. Presidência da República. Brasília, p. 140. 2009.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.