

# Cadeira de rodas robotizada para subir escadas

## Engenharia de Controle e Automação

*Stair-climbing robotic wheelchair*

### **Victor Inácio de Oliveira**

*(pro14724@cefsa.edu.br)*

*Doutor em Engenharia de Automação e Controle pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).*

### **Hugo Magalhães Martins**

*(hugo.magalhães@ifsp.edu.br)*

*Doutorando em Ciências na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP) e professor do Instituto Federal de São Paulo (IFSP).*

### **Bruno Arrivabene**

*(bruno.arrivabene@gmail.com )*

*Graduado em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Paulista (UNIP).*

### **Gabriela Rocha**

*(camposrochag@gmail.com )*

*Graduada em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Paulista (UNIP).*

### **Jailson Oliveira**

*(jailson.goliveira@yahoo.com.br )*

*Graduado em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Paulista (UNIP).*

### **Lucio Solon**

*(luciosolon@terra.com.br)*

*Graduado em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Paulista (UNIP).*

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP DEZ. 2021
- ISSN 2525-8729

Submissão: 31 ago. 2021 Aceitação: 16 dez.2021

Sistema de avaliação: à s cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p.113-123

FTT JOURNAL  
*of Engineering and Business*



FACULDADE  
ENGENHEIRO  
SALVADOR ARENA

## *Resumo*

O trabalho visou o desenvolvimento de uma cadeira de rodas com a capacidade de subir escadas de forma autônoma. Para que se mantivesse o equilíbrio e a segurança do dispositivo mecânico em operação, versões mecânicas e testes diferentes foram desenvolvidos com o intuito de se obter uma solução definitiva e viável. Para a tração da cadeira, optamos por utilizar motores GPB 350W 24V BOSCH, fazendo uso do microcontrolador PIC18F452, originado de um controle baseado em máquina de estado rodando em linguagem C. A função de subir escadas é feita através de um sistema mecânico e eletrônico que atua para adaptar o ângulo de inclinação das esteiras e do assento ao ângulo da escada através de um atuador linear e de acelerômetros, possibilitando com esse sistema menores perturbações e o mínimo de ruídos possível bem como o conforto do usuário, o qual foi obtido por meio de questionário aos participantes envolvidos.

**Palavras-chave:** Cadeira de rodas robotizada. Cadeira de rodas sobe-e-desce escadas. Redução de perturbações mecânicas. Mobilidade. Conforto ao cadeirante.

## *Abstract*

The project aims to develop a wheelchair that has the ability to climb stairs by itself. In order to keep the balance and the safety of the device, different mechanical versions and tests were made to find the solutions for the purpose of reaching the viability of the project. As a means to get the traction of the chair, it was used the GPB 350W 24V BOSCH engine, controlled by PIC 18F452 programmed in C language. The function of climbing stairs is made through a mechanical and electronic system, which acts to adjust the tilt angle of mats and seat to the angle of the stairs through a linear actuator and accelerometers, enabling with this minor system disturbances and possible noise and promoting the necessary comfort needed by the user.

**Keywords:** Robotic wheelchair. Climb-stairs Wheelchair. Mechanical disturbances reduction. Mobility. Comfort for wheelchair users.

## *Introdução*

Acessibilidade e autonomia de mobilidade são aspectos fundamentais que contribuem para a qualidade de vida e o pleno exercício da cidadania pelas pessoas com deficiência (SILVA, 2020). Porém, em nossa atual realidade, nos deparamos insistentemente com estruturas arquitetônicas inadequadas para oferecer acesso às pessoas com deficiência. Temos como exemplo escadas fora de padrão, elevadores com espaços curtos para entrada de uma cadeira de rodas, andares altos sem acesso por rampas, entre outras irregularidades (AZEVEDO, 2020). E esse fato é agravado conforme diminui o poder aquisitivo das pessoas, o que contribui para aumentar o triste conceito da desigualdade social no Brasil (CARVALHO, 2019).

Infelizmente, o desenho universal das cadeiras de roda e as dificuldades de acessibilidade espacial (DORNELEES et al, 2020) ainda são temas não muito evidenciados no Brasil. E mesmo após a reformulação da norma brasileira sobre acessibilidade, a NBR 9050/2004, no ano de 2015, ainda há questões em aberto e falta de clareza quanto aos detalhamentos desta norma (DISCHINGER; ELY, 2016).

Segundo o último censo realizado pelo IBGE em 2010, aproximadamente 45 milhões de brasileiros são afetados pela falta de mobilidade e dificuldade de acesso por conta de locais não adaptados a sua circulação existentes atualmente em nossas cidades (CERCAL; LIMA; PEYERL, 2014).

Essas dificuldades causam um enorme impacto diariamente na vida das pessoas com deficiência. Assim sendo, o objetivo deste projeto é a realização de um estudo técnico, prático e teórico para a melhoria da mobilidade e da acessibilidade desse grupo de indivíduos, de modo a proporcionar possibilidades de melhoria na qualidade de vida de muitos brasileiros.

## *Objetivo*

Este trabalho de pesquisa visa compreender aspectos da concepção estrutural e eletrônica de um sistema tecnológico para uma cadeira de rodas robotizada que seja capaz de subir escadas considerando um estudo aprofundado para se obter o melhor dimensionamento mecânico (MELCONIAN, 2012; 2019) e eletrônico para tal função, mas focando também na parte estética do protótipo e na viabilidade de aquisição desse equipamento em relação a um similar já existente no mercado.

## Metodologia

O projeto da cadeira de rodas baseia-se em um sistema de “trem de pouso”. Conta com um sistema mecânico, controlado eletronicamente, que é ativado para manter a cadeira nivelada em um percurso plano, mas que se retrai para que a inclinação das esteiras seja igual à da escada. O controle de movimentação da cadeira é feito por meio de um joystick.

A cadeira é acionada através de polias mecânicas acopladas a um motor de corrente contínua (motor CC) que possibilita a redução de velocidade e o aumento de torque necessário para que o equipamento consiga subir escadas. Essas polias são interligadas por correias dimensionadas especialmente para obter o melhor ângulo de ascensão e o nível adequado de atrito com os degraus e obstáculos, além de interligação com as demais polias.

Para se posicionar nas escadas, optamos por um atuador elétrico que, por sua vez, usa o conceito de rosca sem fim. Essa rosca será a responsável por fazer as rodas de trás da cadeira, que atuam como “trem de pouso”, subir ou descer, movimentando-se para dentro ou para fora da carenagem da cadeira, possibilitando assim a escalada dos degraus com a superfície das correias em contato direto com o chão e/ou escada.

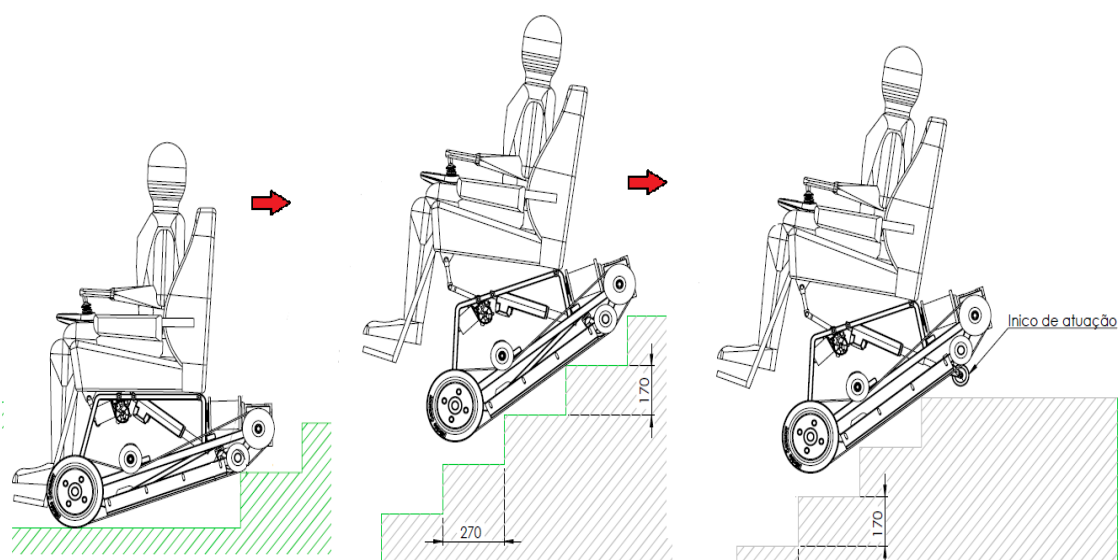


Figura1 – Passo da subida de escada  
Fonte: elaboração dos autores (2021).

# ***Materiais e Métodos***

## *Montagem eletrônica do sistema – diagrama de blocos*

O sistema eletrônico é composto por 5 blocos lógicos: o controle automático do ângulo do assento, a condução e monitoração pela interface de operação com joystick ou display, a etapa de tração e reversão dos motores de tração, o sistema anticolisão baseado em sensores ultrassônicos e, por último, o trem de pouso.

O ângulo do assento é necessário para mantê-lo na horizontal durante a subida de escadas. O sinal de erro entre os acelerômetros é amplificado e então transmitido ao driver 4, que controla o motor responsável pela inclinação da cadeira. Sua atuação é automática e independente dos outros circuitos.

Com a finalidade de proporcionar uma melhor interação entre homem e máquina, a interface de operação indica ao usuário o direcionamento solicitado via joystick, registrando a velocidade da cadeira, que pode variar de 0 a 100% em função de sua intensidade e as demais informações quanto ao posicionamento da cadeira quando estiver subindo escadas, além de mostrar a quantidade de carga restante nas baterias.

O bloco motor de tração é composto por dois motores MR3 e um driver PWM (modulação por largura de pulso) baseado em Power MOSFETs. Um sinal de PWM do PIC é chaveado através de uma ponte por relês para que o motor possa atuar no sentido normal e inverso. A movimentação da cadeira é definida pela combinação entre o sentido de funcionamento dos dois motores.

Os sensores ultrassônicos HC-04 têm a função de informar a localização do protótipo, monitorando se a cadeira está subindo ou prestes a subir, através da programação de uma máquina de estados que se baseia na distância percorrida para o mapeamento do primeiro degrau, efetuando assim a subida da escada de forma automática e precisa.

O trem de pouso é composto por um atuador linear que será responsável pela inclinação da cadeira. Ao ser acionado, esse dispositivo leva 30 segundos para terminar um ciclo inteiro, ou seja, avançar ou recuar completamente o pistão. Ele é responsável pela inclinação da cadeira a fim de assegurar a posição ideal no plano horizontal bem como para vencer obstáculos.

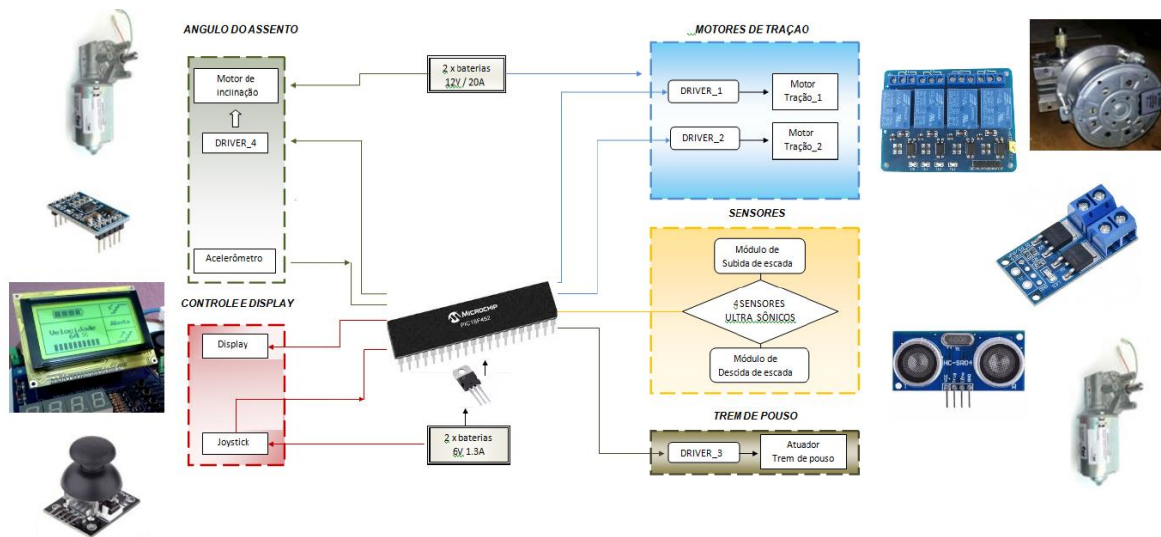


Figura 2 – Diagrama de Blocos.  
 Fonte: elaboração dos autores (2021)

### Montagem eletrônica do sistema – diagrama de blocos

Nesta primeira fase, depois de as peças mecânicas terem sido usinadas, foram agrupadas, peça por peça, para receber a solda.



Figura 3 - Montagem e soldagem.  
 Fonte: elaboração dos autores (2021).

Na segunda fase, após o quadro ter sido montado para receber a solda, ela foi aplicada em cada junta mecânica, conforme mostram as figuras 4 e 5.



Figura 4 - Montagem e soldagem.  
Fonte: elaboração dos autores (2021).



Figura 5 - Montagem e soldagem.  
Fonte: elaboração dos autores (2021).

Esta última foto mostra a terceira fase, em que o quadro está parcialmente montado, com os seus motores para o arraste, o atuador linear elétrico para o acionamento do trem de pouso e o mecanismo para o acionamento do assento.





Figura 6 - Quadro montado.  
Fonte: elaboração dos autores (2021).

Nesta última fase, o quadro está totalmente montado, em pleno funcionamento e sincronizado com as partes eletrônicas.



Figura 7 - Cadeira completamente montada.  
Fonte: elaboração dos autores (2021).

### *Testes e resultados*

O sistema de inclinação funcionou de forma correta, identificando o ângulo com precisão; com o motor interligado ao sistema de cremalheira e pinhão foi possível compensar a posição do assento. Porém, neste teste, devido à grande força tangencial na peça de fixação da cadeira



com o quadro, ela espanou e perdemos o ajuste de sua inclinação, o que exigiu o redimensionamento de uma nova peça para a fixação da cadeira com o quadro para continuarmos os testes.



Figura 8 - Cadeira em testes com a inclinação aprovada.  
Fonte: elaboração dos autores (2021).

### *Teste do trem de pouso*

O trem de pouso funcionou da forma como foi projetado, levantando a cadeira para que ela se desloque numa superfície plana e se retraíndo na subida de rampas e de escadas, porém, levou em média 30 segundos para completar um ciclo inteiro. Esse tempo pode ser melhorado com a implantação de outro atuador com melhor desempenho.

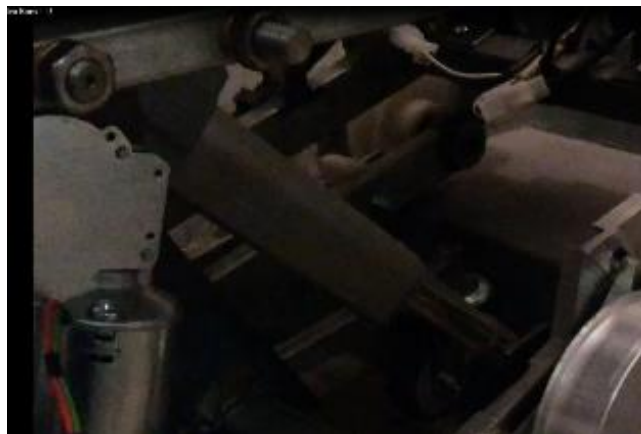


Figura 9 - Atuação do trem de pouso  
Fonte: elaboração dos autores (2021).

## *Teste da correia*

Na subida da escada, a cadeira se mostrou instável variando sua posição entre os lados e não mantendo uma única direção. Esses testes foram feitos sem carga. Como o suporte de fixação da cadeira estava quebrado, simulamos carga em cima da cadeira totalizando 15kg, e então pudemos observar uma melhora considerável no seu mecanismo, sendo que desta vez a correia teve mais aderência com a escada e a cadeira efetuou a ação de ascender os degraus de forma mais constante e estável.



Figura 10 - Atuação do trem de pouso  
Fonte: elaboração dos autores (2021).

## *Considerações finais*

Pode-se afirmar que a construção das partes mecânica e eletrônica dos dispositivos foi realizada com sucesso. Os testes apresentados mostraram-se satisfatórios, já que foram alcançados os seguintes objetivos: pesquisa e testes para escolha da melhor maneira de se construir a estrutura mecânica, programações em microcontrolador para controle dos motores, elaboração dos circuitos eletrônicos de potência e controle bem como do controlador de ângulo do assento.

Testes realizados em laboratório e em ambiente real, comprovando o funcionamento das partes do projeto, também foram realizados. E além desses, os testes para subida de escadas e rampas podem igualmente ser considerados bem-sucedidos, comprovando a integração

eficaz obtida entre a estrutura mecânica e os comandos eletrônicos. Com os resultados encontrados após os testes de cada parte e da integração mecânica e eletrônica, fica demonstrado que o projeto é possivelmente viável para a fabricação e comercialização no mercado, tendo como principais vantagens o baixo custo de sua construção e a autonomia que oferece para um deficiente físico que faz o uso de uma cadeira de rodas.

## Referências

- CARVALHO, S. S., **Ods 10: Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2019
- SILVA, L.E.. **Acessibilidade nas construções arquitetônicas no ensino superior: assegurando a autonomia do aluno na instituição**. 2020. 72 f. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.
- AZEVEDO, G. A. **Análise da acessibilidade da primeira e última milha de pessoas com deficiência (PcD) e idosos que utilizam o transporte de ônibus público na cidade de São Paulo diante de condições climáticas com a chuva**. Salvador, 2020. 77 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) - SENAI CIMATEC, Salvador, 2020.
- DORNELLES, V. G. et al, **Avaliação de acessibilidade espacial no centro de Santa Maria**, VIII Eneac, Natal-RN, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 9050:2015**. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.
- BUZAR, M.A.R; CASTRO JÚNIOR, F.A.; SILVA, N. P. C. **Guia de acessibilidade para projetistas: NBR 9050**. Brasília: LaSUS FAU - Universidade de Brasília, 2021. E-book (58 p., il.).DOI: <https://doi.org/10.26512/9786599238451>. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/book/109>. Acesso em: 09 ago. 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acessado em 04 out. 2020.
- CERCAL, C.; LIMA, H. PEYERL, K. (Curitiba, 2013). **Desenvolvimento de plataforma móvel para o deslocamento de pessoas em escadas**. Universidade tecnológica federal do Paraná. Disponível em: <[nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doce-quipe/2012\\_2\\_28/2012\\_2\\_28\\_proposta.pdf](http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doce-quipe/2012_2_28/2012_2_28_proposta.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2014.
- DISCHINGER, M. ; BINS ELY, V.E. **A acessibilidade espacial segundo alunos cadeirantes em uma escola de ensino regular**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <[nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2012\\_2\\_28/2012\\_2\\_28\\_proposta.pdf](http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2012_2_28/2012_2_28_proposta.pdf)>. Acesso em 06 mar. 2021.
- MELCONIAN, S. **Elementos de Máquina**. 10 ed. Brasil: Erica, 2012. 376 p.
- MELCONIAN, S. **Mecânica técnica e Resistência dos materiais**. 19 ed. Brasil: Erica, 2012. 376 p.