

## **SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO PARA CADEIRAS DE RODAS ELÉTRICAS INSPIRADO EM GIMBALS DE CÂMERAS ESPORTIVAS PARA PROTEÇÃO DE CERVICAL**

JOAB TAVARES FAGUNDES<sup>1</sup>; NATÃ TAVARES FAGUNDES<sup>2</sup>; ELMER ALEXIS  
GAMBOA PENALOZA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – joab.fagundes@ufpel.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – natantavaress@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – eagpenaloza@ufpel.edu.br

### **1. INTRODUÇÃO**

As paraolimpíadas de 2024, realizadas em Paris, trouxeram novamente à tona o tema das deficiências e da acessibilidade, especialmente em virtude do expressivo número de medalhas conquistadas pelo Brasil (AGÊNCIA BRASIL, 2024). O evento abrangeu diversas modalidades esportivas, e um aspecto que chamou particular atenção foi a infraestrutura de acessibilidade disponibilizada aos atletas. A acessibilidade às cadeiras de rodas, tanto motorizadas quanto manuais, destacou-se pela presença de rampas e pelo suporte de pessoas para auxiliar no deslocamento dos competidores.

Infelizmente, essa realidade ainda é pouco comum no cotidiano, seja em grandes cidades como Paris, França ou São Paulo no Brasil ou em cidades pequenas como é o caso da cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul. Em Pelotas, por exemplo, o cenário de acessibilidade pode ser melhor compreendido ao se analisar as políticas públicas e eventos que buscam promover calçadas mais regulares e acessíveis, conforme as exigências da legislação municipal (Pelotas, 2022). Os problemas de acessibilidade em Pelotas, entretanto, não seriam solucionados apenas com a implementação de rampas, calçadas adequadas ou cadeiras motorizadas, considerando a topografia natural da região e suas ruas históricas, repletas de irregularidades, paralelepípedos e outros obstáculos. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de sistemas inteligentes para cadeiras de rodas, similares aos aplicados em veículos de grande porte, como carros e motocicletas. A incorporação de equipamentos mais robustos devem priorizar a implementação de sistemas de estabilização, que reduzam os impactos provocados por vibrações e irregularidades no terreno, visando proteger o usuário, especialmente sua coluna vertebral, que em muitos casos pode já estar comprometida por lesões.

Neste contexto, este trabalho propõe o modelagem e desenvolvimento de um ambiente de simulação, que demonstra o comportamento dinâmico de uma cadeira de rodas a sua aplicação aos impactos sofridos pelo usuário. A partir de um modelo matemático computacional, o sistema visa analisar o comportamento da roda em relação às irregularidades do solo, a resposta do sistema e a atuação de um mecanismo de compensação elétrica. O sistema elétrico proposto apresenta um comportamento similar ao de um *gimbal* de estabilização de câmeras (ISAEV, 2018).

### **2. METODOLOGIA**

Inicialmente tomou-se como referência a aplicação de um modelo de testes computacionais para simular comportamento de uma cadeira já modelada para entender a capacidade e características físicas permitidas para simulação.

Assim, se obtém a quantidade de dados, movimento e impactos que ocorrem, através das informações do simulador. Seguidamente, se utiliza como referência parâmetros para o modelo dinâmico obtidos da consulta de diferentes referências bibliográficas (YAO, 2007; COOPER, 1990; Silva, L. C. de A, 2007; Tesfamikael, Hadish, 2021). Esses artigos serviram como base de modelo para a construção, dentro do MATLAB/simulink®, do ambiente de simulação de simulação dinâmica que recria o comportamento de uma cadeira de rodas. Adicionalmente, em etapas futuras do desenvolvimento do projeto é necessário a construção, dentro do ambiente de simulação, de um modelo que caracterize o comportamento de um *gimbal* de câmeras para assim, compensar o movimento, o qual fornece uma melhoria em relação aos métodos tradicionais de amortecimento utilizados para estas aplicações. O ambiente dinâmico simulado pode descrever o comportamento do sistema da cadeira e implementado sensores de impacto para medir a transferência de carga do movimento para a coluna de usuários e assim medir uma possível capacidade de aumentar a lesão ou causar mais prejuízos aos mesmos, que já se encontram com lesões em grande maioria. Em etapas posteriores, após a modelagem e obtenção dos dados base de impacto, com a adição do controle ativo do *gimbal*, pretende-se obter novos resultados relacionados com a amortização ocasionada pelo controle de movimento e estabilização, sob mesmas condições e cenários para não haver diferença ou divergência nas comparações entre os dois resultados e assim poder sinalizar a capacidade de um amortecimento inteligente para evitar possíveis lesões. Na Tabela 1 são apresentadas as equações analíticas que compõem o modelo simulado na plataforma MATLAB/simulink®.

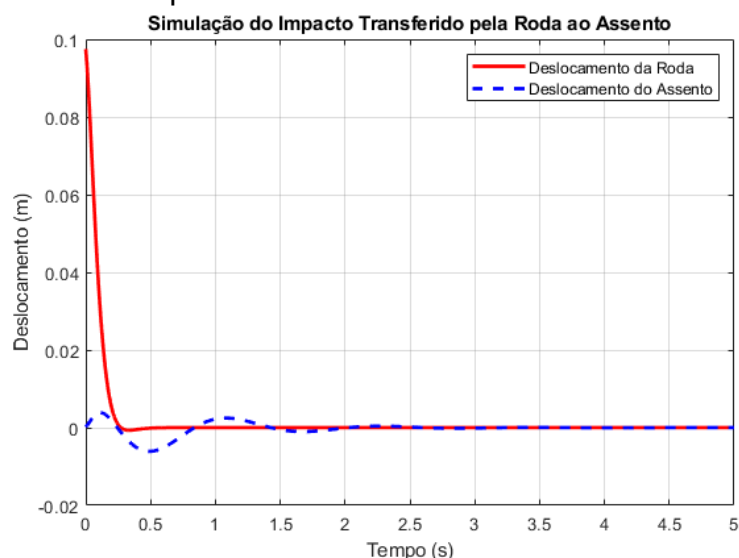
Tabela 1. Equações analíticas usadas no ambiente de simulação.

Equação	Descrição	Fórmula
Força na roda	Força restauradora da mola e amortecimento na roda	$F_{\text{roda}} = -k_{\text{roda}} \cdot x_{\text{roda}} - c_{\text{roda}} \cdot v_{\text{roda}}$
Aceleração da roda	Aceleração da roda devido à força resultante	$a_{\text{roda}} = \frac{F_{\text{roda}}}{m_{\text{roda}}}$
Atualização da velocidade da roda	Velocidade da roda após cada passo de tempo	$v_{\text{roda}}(t + \Delta t) = v_{\text{roda}}(t) + a_{\text{roda}} \cdot \Delta t$
Atualização da posição da roda	Posição da roda após cada passo de tempo	$x_{\text{roda}}(t + \Delta t) = x_{\text{roda}}(t) + v_{\text{roda}}(t + \Delta t) \cdot \Delta t$
Força no assento	Força restauradora e amortecimento transmitida ao assento	$F_{\text{assento}} = -k_{\text{assento}} \cdot (x_{\text{assento}} - x_{\text{roda}}) - c_{\text{assento}} \cdot (v_{\text{assento}} - v_{\text{roda}})$
Aceleração do assento	Aceleração do assento devido à força resultante	$a_{\text{assento}} = \frac{F_{\text{assento}}}{m_{\text{assento}}}$
Atualização da velocidade do assento	Velocidade do assento após cada passo de tempo	$v_{\text{assento}}(t + \Delta t) = v_{\text{assento}}(t) + a_{\text{assento}} \cdot \Delta t$
Atualização da posição do assento	Posição do assento após cada passo de tempo	$x_{\text{assento}}(t + \Delta t) = x_{\text{assento}}(t) + v_{\text{assento}}(t + \Delta t) \cdot \Delta t$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adotando que o sistema dinâmico pode ser simplificado e representado como um sistema massa, mola, amortecedor, o que caracteriza o pneu como um conjunto de ar e borracha com amortecimento e com uma função elástica da mola que tende a empurrar o sistema para o estado inicial. Por outro lado, o eixo de estabilização no primeiro momento é um amortecedor que tende a recuperar sua posição através da força aplicada em sentido contrário. Adicionalmente, se assume que a massa da cadeira e o peso do usuário são valores constantes, pode-se considerar a analogia de uma suspensão ativa de um veículo elétrico, podem-se realizar simulações por meio da variação de valores simulados, para se obter a curva de resposta (Figura 1) do sistema considerando a diferença entre o comportamento na roda e no usuário e o quanto a movimentação da roda tem capacidade de transferir carga ao usuário.

Figura 1 - Curva de Resposta.



O resultado de simulação é obtido usando um pico de impulso de 0.1[m]. A resposta oscilatória da linha azul corresponde ao assento e o impacto sofrido nele. De outro lado, a linha vermelha indica o deslocamento da cadeira. Assim, para uma massa pequena no assento e pouco amortecimento, o impacto no usuário acima da cadeira pode ser sentido de maneira maior que a perturbação da roda. Assim, pode-se considerar que essa relação pode ser aplicada às duas rodas, podendo produzir um tombamento ou uma perda do controle e da estabilização do sistema.

### 4. CONCLUSÕES

O modelo apresentou-se como um sistema estável, com um desempenho inicial promissor, possibilitando a continuidade do desenvolvimento para um projeto mais realista. Nos próximos estágios, o sistema será implementado em um ambiente computacional mais robusto, capaz de responder a estímulos mais complexos, contando com um modelo mais detalhista além do massa, mola, amortecedor, com um nível de detalhamento das forças e medidas reais e com o sistemas já acoplado ao impacto da medula, para aplicação de situações como terrenos altamente irregulares, simulações de quedas forçadas, e a introdução de um sistema de frenagem e desaceleração inteligente em rampas ou em situações

críticas. Portanto, o modelo atendeu às expectativas iniciais, demonstrando resultados que viabilizem a produção de um sistema estabilizado e abrindo a possibilidade da implementação de um sistema eletrônico de estabilização ativa via técnicas de controle, com objetivo de minimizar o impacto na coluna vertebral dos usuários, podendo assim ser capaz de proteger o usuário. No entanto, são necessários estudos adicionais e investimentos para a aplicação prática do modelo em testes físicos, permitindo, inclusive, comparações com sistemas de suspensão ativa.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Agência Brasil. Atletas paralímpicos são tema do Caminhos da Reportagem deste domingo. Agência Brasil, 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/esportes/noticia/2021-08/atletas-paralimpicos-sao-tema-do-caminhos-da-reportagem-deste-domingo>. Acesso em: 16 set. 2024.

PELOTAS. Decreto nº 6.556, de 2022. Homologa o Regimento Interno do Comitê Gestor Municipal de Políticas de Inclusão das Pessoas com Deficiência, e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/pelotas/decreto/2022/655/6556/decreto-n-6556-2022-homologa-o-regimento-interno-do-comite-gestor-municipal-de-politicas-de-inclusao-das-pessoas-com-deficiencia-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 07 set. 2024.

ISAEV, Alexander M. et al. Mathematical modelling of the stabilization system for a mobile base video camera using quaternions. In: Integrating research agendas and devising joint challenges: International Multidisciplinary Symposium ICT Research in Russian Federation and Europe.–Stavropol. 2018. p. 51-62.

YAO, Fei. Measurement and modeling of wheelchair propulsion ability for people with spinal cord injury. 2007.

COOPER, Rory A. Uma abordagem de sistemas para a modelagem da propulsão de cadeira de rodas de corrida. J Rehabil Res Dev , v. 27, n. 2, p. 151-62, 1990.

Silva, L. C. de A., & Dedini, F. G. (2007). Forces Acting Between Road and Wheel of the Wheelchair. In Proceedings of COBEM 2007: 19th International Congress of Mechanical Engineering (pp. 1-8). Brasília, DF: ABCM.

Tesfamikael, Hadish & Fray, Adam & Mengsteab, Israel & Semere, Adonay & Amanuel, Zebib. (2021). Construction of Mathematical Model of DC Servo Motor Mechanism with PID controller for Electric Wheel Chair Arrangement. Journal of Electronics and Informatics. 3. 49-60. 10.36548/jei.2021.1.005.

Wieczorek, B. The Wheelchair Propulsion Wheel Rotation Angle Function Symmetry in the Propelling Phase: Motion Capture Research and a Mathematical Model. Symmetry 2022, 14, 576. <https://doi.org/10.3390/sym14030576>