

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

JOAB TAVARES FAGUNDES¹; NATÃ TAVARES FAGUNDES²; ELMER ALEXIS
GAMBOA PENALOZA³

¹Universidade Federal de Pelotas – joab.fagundes@ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – natantavaress@gmail.com

³Universidade 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[®].

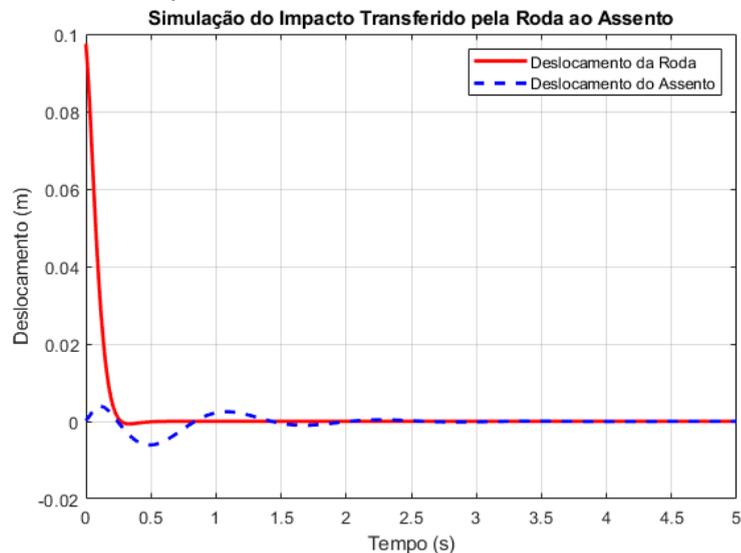
Tabela 1. Equações analíticas usadas no ambiente de simulação.

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>