

## Desenvolvimento de Andador com Suporte de Peso para Avaliação de Exoesqueleto de Membro Inferior

**Autor: Gabriel Patti Sanches Coelho**

**Orientador: Adriano Gonçalves Siqueira**

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC USP)

[gabriel.patti@usp.br](mailto:gabriel.patti@usp.br)

### Objetivos

O objetivo desta pesquisa é projetar, construir e avaliar um andador com suporte de peso para o exoesqueleto de membro inferior Exo-TAO, considerando a caminhada no solo. Nesse sentido, este trabalho estudará as possíveis soluções tanto do ponto de vista mecânico como de ergonomia, possibilitando ao usuário a utilização do exoesqueleto de forma segura e confortável, além da obtenção de dados mais precisos e confiáveis.

### Métodos e Procedimentos

Para a avaliação do andador, foi utilizado o exoesqueleto robótico Exo-TAO, desenvolvido para a reabilitação da marcha de pacientes com deficiência motora provenientes de Acidente Vascular Cerebral ou lesão medular.

O Exo-TAO utilizava um sistema de compensação de peso composto por uma estrutura metálica fixa e um conjunto de faixas e fivelas que prendiam as barras do exoesqueleto a estrutura, não possibilitando o ajuste da compensação e se mostrando desconfortável para a maioria dos usuários.



Figura 1: (a) Exo-TAO, (b) Suporte de peso anterior

Buscando solucionar esses problemas a estrutura projetada é formada por perfis estruturais de alumínio 6063-T5, devido a boa relação entre massa e resistência, além da alta capacidade de ajustes que possibilitam alterações personalizadas nas dimensões do andador, característica fundamental para boa interação ergonômica entre corpo e máquina. Na base do andador foram utilizados perfis de 45 mm x 90 mm, garantindo maior margem estrutural, além de rodas de 6" que possibilitam encaixe também sobre a esteira.

Perfis similares ao da base foram utilizados em um pórtico de 2 metros de altura para suportar o peso do usuário. Outro mecanismo de suporte foi adicionado utilizando um par de perfis verticais com manípulos para apoio das mãos e auxílio na movimentação.

Para o suporte e sustentação passiva do exoesqueleto, foi projetado um braço rotativo que se utiliza de mancais para rotacionar em torno de um tubo de 1", na extremidade posterior do braço foram fixados 6 conjuntos de módulos elásticos compostos de mecanismos de ajuste de tração, que se equilibram e sustentam o peso da extremidade anterior onde o Exo-TAO foi conectado.

A conexão entre exoesqueleto e andador proporciona rotação entre essas partes, mantendo o usuário sempre na posição vertical. O mecanismo é composto de uma peça de poliuretano em formato de "L" fixado nos tubos do quadril do exoesqueleto, garantindo equilíbrio do C.G, nela é conectado um eixo circular de aço prata que rotaciona dentro de um mancal posicionado nas extremidades anteriores do braço rotativo.

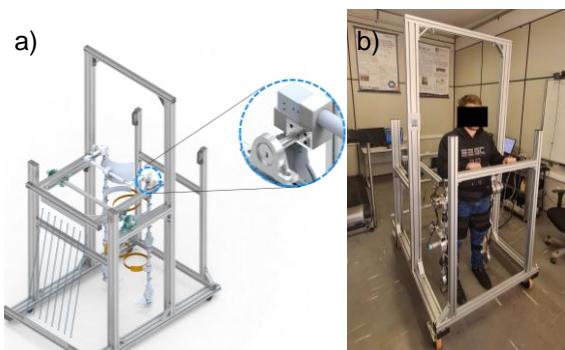


Figura 2: (a) Projeto Final, (b) Estrutura construída

Foi empregado também o Método dos Elementos Finitos (MEF) utilizando o software Ansys Workbench® para análise estrutural do pórtico de suporte de peso e da base, visto que são as partes mais críticas da estrutura.

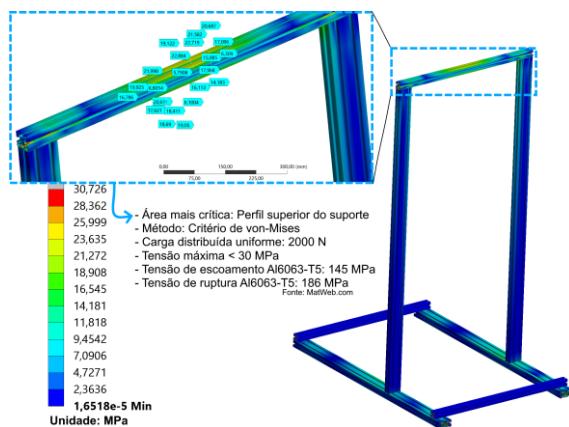


Figura 3: Análise estrutural por MEF

## Resultados

A Figura 2 apresenta o modelo final do andador acoplado ao exoesqueleto Exo-TAO, o conjunto foi testado visando avaliar 2 principais parâmetros: Ergonomia e Dados do controle. O primeiro parâmetro foi avaliado a partir da experiência dos usuários com a estrutura.

Tabela 1: Avaliação ergonômica dos usuários

Usuário	1	2	3	4
Acessibilidade da estrutura	10	10	10	8
Conforto no posicionamento das mãos	8	10	7	6
Tamanho e facilidade na movimentação da estrutura	6	5	8	7
Sustentação do peso do EXO-Tao	8	10	8	9
Nível de dor ou desconforto	0	0	3	0

Para o segundo parâmetro, foram utilizados encoders nas juntas do quadril e um controle PID para o motor posicionado na junta do joelho direito. Assim, foi possível levantar dados sobre o torque e os ângulos nas juntas analisadas durante a marcha livre e em esteira.



Figura 4: Comparação das velocidades do motor (joelho direito) durante a marcha em cada estrutura

## Conclusões

A acessibilidade da estrutura, sustentação do peso do Exo-TAO e o nível de dor ou desconforto na utilização, se destacaram positivamente na avaliação do usuário validando os principais objetivos do projeto. Para o conforto no posicionamento das mãos, conclui-se que a posição dos manípulos deve ser alterada, mudança facilitada pela alta capacidade de ajuste dos perfis estruturais.

Já os problemas de movimentação da estrutura estão principalmente no direcionamento dos rodízios no início da caminhada e novos sistemas de rodas serão estudados.

Por fim, os dados aquisitados com a nova estrutura apresentam menores variações de ângulos além de menores valores de torque e velocidade do motor, representando a compensação do peso do Exo-TAO que leva a diminuição da impedância e aumento da transparência no controle robótico.

## Referências Bibliográficas

- [1] W. M. dos Santos, S. L. Nogueira, G. C. de Oliveira, G. G. Peña, and A. A. G. Siqueira. Design and evaluation of a modular lower limb exoskeleton for rehabilitation. In 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), pages 447 – 451, London, 2017.