

Dispositivo modular multifuncional para treinamento de equilíbrio, força e coordenação motora

Multifunctional modular device for balance, strength, and motor coordination training

Dispositivo modular multifuncional para entrenamiento de equilibrio, fuerza y coordinación motora

Jeremias Silva de Souza¹  

Alessandro Pereira da Silva¹  

Silvia Regina Matos da Silva Boschi¹  

Silvia Cristina Martini¹  

Tabajara de Oliveira Gonzalez¹  

Terigi Augusto Scardovelli¹  

Tipo de Publicação: Artigo Completo

Área do Conhecimento: Área Exatas e Tecnologias

¹ Laboratório de Ambientes Virtuais e Tecnologia Assistiva (LAVITA), Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, SP, Brasil.

RESUMO

Objetivo: Desenvolver um dispositivo modular multifuncional para treinamento de equilíbrio, força e coordenação motora, construído em madeira e aço, visando prevenção e reabilitação de marcha, reforço muscular e equilíbrio de pacientes em um único equipamento, permitindo a inserção de acessórios, como rampa, degraus e guias. **Métodos:** O método foi dividido em cinco etapas: modelagem do protótipo em software 3D; definição dos materiais utilizados; integração de atividades (marcha, exercícios de coordenação e condicionamento geral); testes de elementos finitos e construção do protótipo em madeira e aço. **Resultados:** No teste de deformação elástica apresentou excelentes resultados com uma deformação plástica de 5,0 mm, na condição máxima de curso da guia. No teste de ruptura, condição máxima de esforço estresse, a barra da carga aplicada apresentou um bom resultado visto que o ponto de maior tensão chegou a 90 MPA. **Considerações finais:** O dispositivo proporciona segurança ao paciente, existe eficiência no equipamento com níveis mínimos de deformação.

Palavras-chave: Dispositivo, Equilíbrio, Modular, Multifuncional, Coordenação Motora.

ABSTRACT

Objective: Develop a multifunctional modular device for balance, strength, and motor coordination training, made of wood and steel, aiming to prevent and rehabilitate gait, muscle strengthening, and patient balance in a single piece of equipment, allowing the insertion of accessories such as ramps, steps, and guides. **Methods:** The method was divided into five steps: modeling the prototype in 3D software; definition of the materials used; integration of activities (gait, coordination exercises, and general conditioning); finite element testing and construction of the prototype in wood and steel. **Results:** In the elastic deformation test, it showed excellent results with a plastic deformation of 5.0 mm, at the maximum guide travel condition. In the rupture test, maximum stress condition, the applied load bar presented a good result as the point of greatest tension reached 90 MPA. **Final Remarks:** The device provides patient safety, and there is efficiency in the equipment with minimum levels of deformation.

Keywords: Device, Balance, Modular, Multifunctional, Motor Coordination.

RESUMEN

Objetivo: Desarrollar un dispositivo modular multifuncional para el entrenamiento del equilibrio, la fuerza y la coordinación motora, fabricado en madera y acero, con el objetivo de prevenir y rehabilitar la marcha, el fortalecimiento muscular y el equilibrio del paciente en un solo equipo, permitiendo la inserción de accesorios como rampas, pasos y guías. **Métodos:** El método se dividió en cinco pasos: modelado del prototipo en software 3D; definición de los materiales utilizados; integración de actividades (marcha, ejercicios de coordinación y acondicionamiento general); Ensayo de elementos finitos y construcción del prototipo en madera y acero. **Resultados:** En el ensayo de deformación elástica mostró excelentes resultados con deformación plástica de 5,0 mm, bajo la condición de máximo desplazamiento de la guía. En la prueba de ruptura, condición de máxima tensión, la barra de carga aplicada mostró buenos resultados, ya que el punto de mayor tensión alcanzó los 90 MPA. **Consideraciones Finales:** El dispositivo brinda seguridad al paciente y el equipo es eficiente con niveles mínimos de deformación.

Palabras clave: Dispositivo, Equilibrio, Modular, Multifuncional, Coordinación Motora.

1. INTRODUÇÃO

O uso de barras paralelas nas terapias e reabilitações é de vital importância na área da saúde. Barras paralelas são utilizadas para auxiliar pessoas na recuperação da força, equilíbrio, amplitude de movimento e independência.¹⁻³ Para pessoas que estão se recuperando de lesões, doenças e outras condições limitantes, a barra paralela é um equipamento importante de fisioterapia, reabilitação e exercício.³⁻⁵

Os fisioterapeutas utilizam a barra paralela para exercícios de coordenação. Esses procedimentos orientados, para execução de tarefas, ajudam pessoas com dificuldades de equilíbrio e coordenação, normalmente resultantes lesões adquiridas.^{1,3,6} Os pacientes são obrigados a repetir movimentos que trabalham mais de uma articulação e músculo.⁷ Barras paralelas também são usadas em exercícios de deambulação para melhorar a capacidade do paciente de andar de forma independente ou com assistência.^{7,8}

Há diversos modelos no mercado, como barras paralelas com e sem tablado, barras paralelas sem regulagem de altura (fixas), barras paralelas com regulagem de altura e largura, barras paralelas com plataforma lateral, barras paralelas com inclinação, barras paralelas com regulagem eletrônica de altura, barras paralelas com regulagem de altura e inclinação, barras paralelas com auxílio de pórtico com cintas, além de barras paralelas com degraus.⁹⁻¹³

Antes de iniciar tais exercícios, alguns pacientes podem necessitar desenvolver ou melhorar a amplitude de movimento das articulações.^{3,8} Normalmente, esse tipo de preparação começa nas barras paralelas e depois avança para caminhar com auxílio de andadores, suspensórios ou bengalas.¹⁴ Este tratamento de reabilitação consolida o âmbito do movimento, reforço muscular e atividades para neutralizar os impactos decorrentes da permanência em uma cadeira de rodas por um período prolongado ou do atraso no repouso na cama e na imobilização.^{15,16}

A preparação do passo pode permitir que os pacientes recuperem seu movimento típico de movimentação.⁷ Para que qualquer tipo de reabilitação seja bem-sucedido, é fundamental implementar um curso de terapia multifacetado e interdisciplinar que incorpore exercícios e técnicas que tenham um foco amplo e abrangente.^{14,17}

É importante lembrar que nem todo processo de reabilitação é igual. Há momentos em que estratégias diferentes são empregadas no mesmo paciente e outras vezes em que as mesmas estratégias são empregadas em pacientes diferentes.^{14,18} Ao lado da utilização de barras paralelas, os especialistas deverão consolidar outros equipamentos de restauração.¹⁹

Dentre os inúmeros tratamentos que podem ser realizados com as barras paralelas, pode-se agrupá-los em treino de marcha, exercícios de coordenação e exercícios de condicionamento em geral.¹⁷ O treino de marcha é um tratamento que possui como principal objetivo a recuperação da força e do equilíbrio do paciente.^{17,20} Durante a terapia, o indivíduo é incentivado a mover-se — por superfícies planas, instáveis ou escadas — a fim de melhorar o alinhamento corporal, a amplitude do movimento, a capacidade motora, o condicionamento.^{17,20} A barra paralela também pode ser utilizada para pessoas com problemas de equilíbrio e coordenação, permitindo exercícios que melhoram a amplitude do movimento.^{1,17} Pessoas que utilizam cadeiras de rodas ou ficam em repouso por um longo período, por exemplo, também podem se beneficiar

desse dispositivo. Isso porque os indivíduos que ficam imobilizados por muito tempo acabam perdendo a força cardíaca e pulmonar.^{15,16,21}

A hipótese levantada é a construção de um dispositivo modular multifuncional para treinamento de equilíbrio, força e coordenação motora, permitindo em um único aparelho treino de marcha, equilíbrio, fortalecimento muscular e transferência de peso, tratamento preventivo para idosos e treinamento de atletas de alta performance com utilização de diversos acessórios como rampa de inversão, reversão, escada para crianças, guia central e escada para adultos, com redução de custo e modularizado permitindo alguns tratamentos de reabilitação que hoje só é possível com 2 a 4 modelos diferentes de barras paralelas existentes no mercado, permitindo uma redução de custo e espaço físico em clínicas e centros de reabilitação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do dispositivo modular multifuncional proposto nesse projeto foi dividido nas seguintes etapas:

1ª Etapa: Modelagem do projeto em *software* 3D: para a modelagem do dispositivo foi utilizado o *software* Inventor 3D,^{22,23} com detalhamento de peças e materiais utilizados. Nesse *software* também foram simulados os esforços aplicados no dispositivo, bem como o projeto do equipamento com análise dos materiais empregados na construção.

2ª Etapa: Definição dos materiais utilizados: Para construção do dispositivo foram utilizados madeira (MDF - *Medium Density Fiberboard*) e aço carbono. A madeira foi utilizada na base e nos acessórios (rampa, escada para criança, escada para adultos e guia central), em razão de baixo custo, boa aderência e resistência mecânica. Já o aço carbono foi aplicado nas partes de maior esforço mecânico como torre de sustentação, sistema de guias laterais, guia transversal e barra de apoio (corrimão)

3ª Etapa: Integração de atividades: os acessórios foram analisados, bem como, a usabilidade e modularidade de cada acessório, visando a segurança do paciente.

4ª Etapa: Testes de elementos finitos: para dimensionamento dos materiais utilizados e sua segurança.

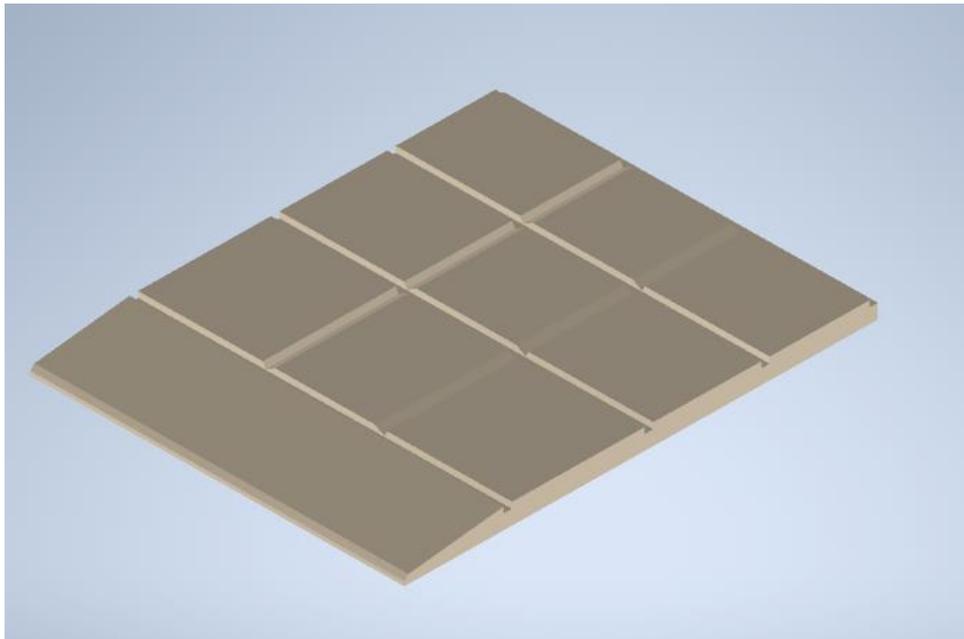
5ª Etapa: Construção do Protótipo: foram utilizadas máquinas de usinagem para construção e montagem das peças. Um módulo foi construído em escala natural para posterior validação dos testes clínicos em outro projeto.

A base (Figura 1) foi concebida com espessura de 54 mm. Sendo 20 mm de espessura para encaixe dos canais dos acessórios e o restante para a fixação segura das torres de sustentação. A base tem 1100 mm de comprimento e 800 mm de largura, possibilitando encaixe de 2 degraus de acordo com a ABNT NBR 9077 referente à altura comprimento para escadas. As dimensões escolhidas referem-se a área útil de utilização que foram baseadas nos manuais existentes das plataformas comerciais, a fim de seguir o padrão já existente e aprovado no mercado.

A guia central é um dos acessórios do dispositivo modular multifuncional fabricada em MDF e tem a função de correção ou guia para os pés durante a reabilitação de marcha. Possui uma aderência para o

deslocamento do paciente garantindo a segurança. A guia tem 860 mm de comprimento, 120 mm de largura de cada lado formando o ângulo de 45º graus.

FIGURA 1. Base do dispositivo modular multifuncional fabricada em MDF. Base utilizada em um módulo do dispositivo.



Fonte: Souza et al. (2023)

Para possibilitar a regulagem lateral (transversal) foi implementado o conjunto de guias inferiores (Figura 2a), com regulagem de 31,5 cm a 55,5 cm (mesma faixa das guias superiores), possibilitando apoio duplo no exercício de marcha (guia superior para as mãos e guia inferior para as pernas). O conjunto das guias é composto por uma barra e um suporte ajustável de regulagem lateral que está fixado a torre de sustentação por meio de manípulos de regulagem. Ao todo são 2 conjuntos que trabalham um de cada lado da barra, sendo todos fabricados em aço carbono. As guias têm um comprimento de 1120 mm e um diâmetro de 35 mm.

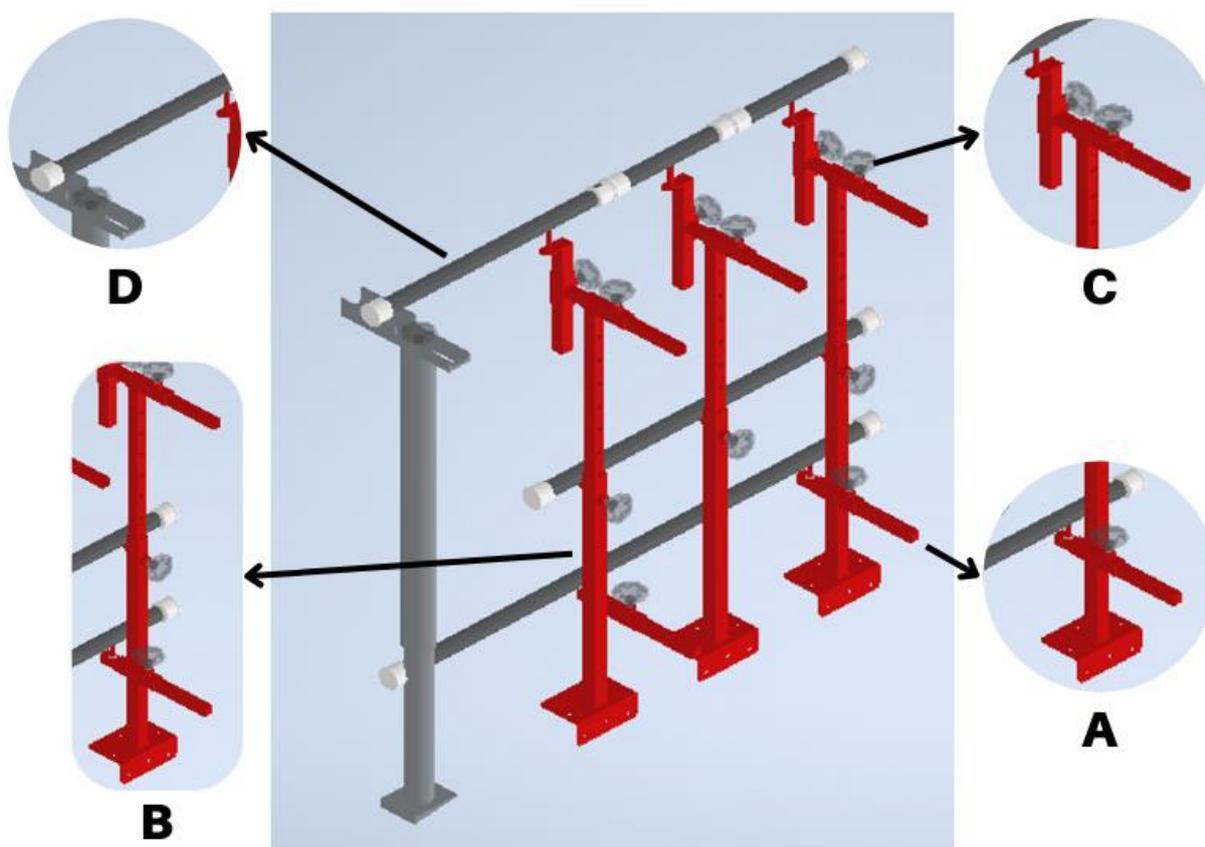
Foram modeladas também seis torres de sustentação (Figura 2b) que trabalham em pares (direita e esquerda) com regulagem de altura independentes, para serem utilizadas na função de barras paralelas, escada ou rampa. Fabricadas em aço carbono, com perfil quadrado e fixação com 8 parafusos por barra garantindo a segurança do dispositivo. A regulagem de altura é de 65 cm a 121 cm.

Para a regulagem transversal foram implementadas seis barras de perfil quadrado no total, Figura 2c) (três do lado esquerdo e três do lado direito) trabalhando com regulagem de 31,5 cm a 55,5 cm com variações de 3 em 3 cm (mesma das guias inferiores) possibilitando apoio duplo no exercício de marcha, superior para mãos e inferior para pernas. Fabricadas em aço carbono com fixação com manípulos de resinas e rosca de

aço. O aço foi utilizado nesta parte da estrutura, pois precisa suportar o esforço principal do equipamento juntamente com a torre de sustentação.

Para o corrimão foram construídas seis barras de apoio independentes, ou seja, permite a regulação do corrimão em pares para utilização na função barras paralelas, escada ou rampa. Possui perfil cilíndrico com 50 mm de diâmetro em aço carbono, fixação com parafusos e rosca de aço (Figura 2d).

FIGURA 2. Estrutura de apoio do dispositivo modular do lado esquerda. A) Conjunto de guia inferior. B) Torre de sustentação. C) Barra de regulação transversal. D) Barra de apoio.

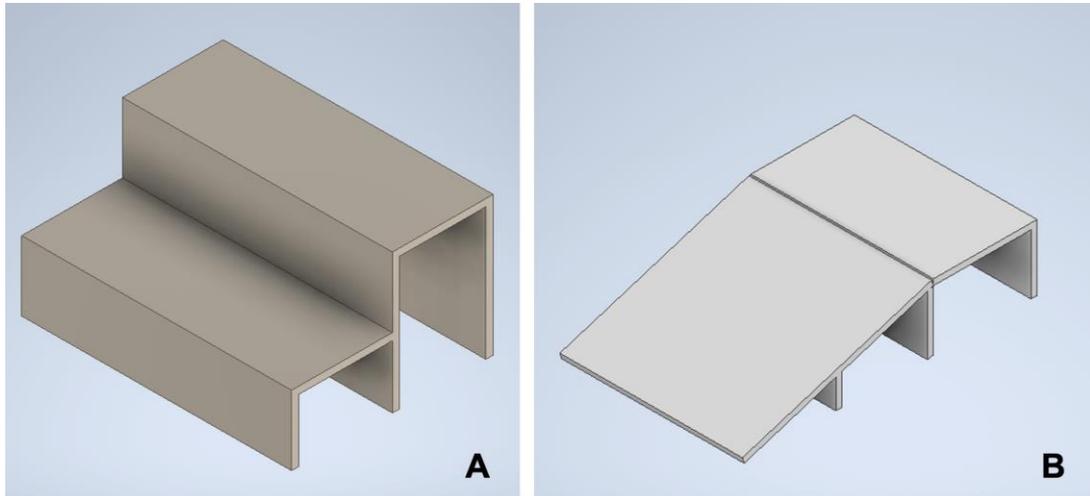


Fonte: Souza et al. (2023)

O módulo escada foi fabricado em madeira (MDF) e possui dois modelos: um módulo para criança com três degraus nas dimensões de 57 cm de largura por 11 cm de altura por cada degrau e outro módulo para adultos com dois degraus nas dimensões de 57 cm de largura e altura de 17 cm para cada degrau, conforme norma ABNT NBR 9077 para adultos (Figura 3a).

O módulo rampa (Figura 3b) tem uma parte inclinada e uma plana fazendo a função subida plano e descida, na condição de dois módulos montados. Esse módulo foi fabricado em MDF, permitindo rápida troca de um exercício para outro. Com 91 cm de comprimento, largura de 57 cm e altura de 1,5 cm.

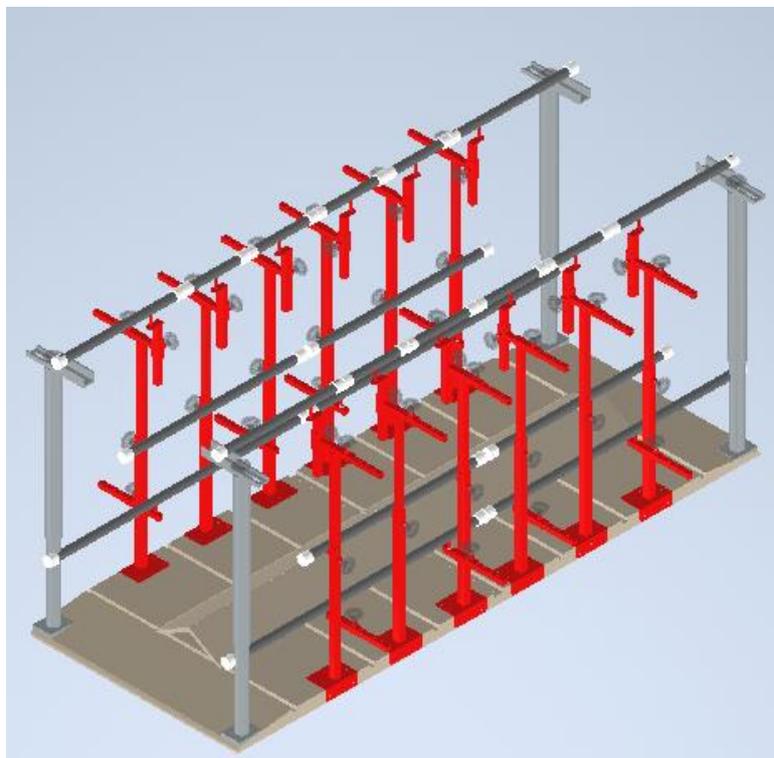
FIGURA 3. Módulo implementados para treinamento no dispositivo. A) Módulo escada para adultos. B) Módulo rampa.



Fonte: Souza et al. (2023)

A figura 4 apresenta a modelagem do dispositivo multifuncional, com dois módulos, configurado para exercício de marcha com correção da posição dos pés (guia central).

FIGURA 4. Modelagem do dispositivo para exercício de marcha com correção da posição dos pés.



Fonte: Souza et al. (2023)

No protocolo de testes foram analisados os esforços físicos aplicados ao protótipo na simulação a sua utilização (por meio de análise de elementos finitos) e posteriormente, após a confecção do protótipo foram feitos testes, com o próprio pesquisador, simulando as fases de reabilitação com pacientes, a fim de levantar os dados práticos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dispositivo modular multifuncional consiste em uma base de MDF com canais para inserção de acessórios rampa, escada para crianças, e escada para adultos também em MDF. Cada módulo é composto por seis guias independentes fabricadas em aço ao carbono, sendo três de cada lado, que permitem regulagens independentes de altura, largura (transversal), permitindo o uso por crianças e adultos, além de um guia inferior de cada lado com regulagem transversal, também fabricada em aço carbono.

Especificações técnicas de um módulo: fabricada em aço ao carbono e madeira (MDF); altura 65 cm a 121 cm atendendo crianças e adultos; largura 31,5 cm a 55,5 cm; guias inferiores regulagem de 31,5 a 55,5 cm; comprimento total 1100 cm; largura total 80 cm.

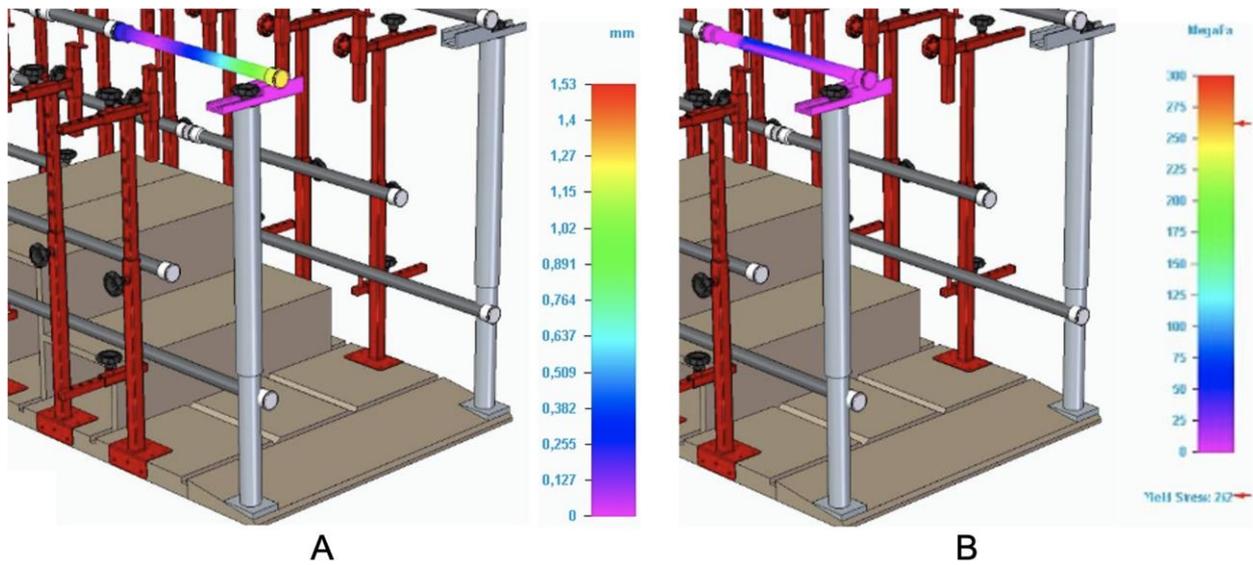
A análise dos dados de elementos finitos no modelo 3D foi aplicada nos elementos de maior esforço na torre de sustentação, barras de regulagem transversais e barras de apoio. A carga escolhida foi a mesma de diversos fabricantes que especificam peso máximo de 130kgf, ou seja, 65 kgf em cada lado da barra paralela.

No teste de deformação elástica (Figura 5a), condição máxima de esforço, a barra estava na altura máxima e guia transversal na regulagem mínima. Esse foi o maior esforço devido à alavanca gerada pela guia transversal em relação ao ponto de apoio. Esse apresentou excelentes resultados com uma deformação plástica de 5,0 mm, na condição máxima de curso da guia, chegando à conclusão que em condição de uso 5,0 mm de deformação, não interfere na prática do paciente bem como garante a segurança do mesmo.

No teste de ruptura (Figura 5b), condição máxima de esforço estresse, a barra da carga aplicada apresentou um bom resultado visto que o ponto de maior tensão chegou a 90 MPA, pois a carga máxima para estresse ruptura do aço carbono é de 262 MPA.

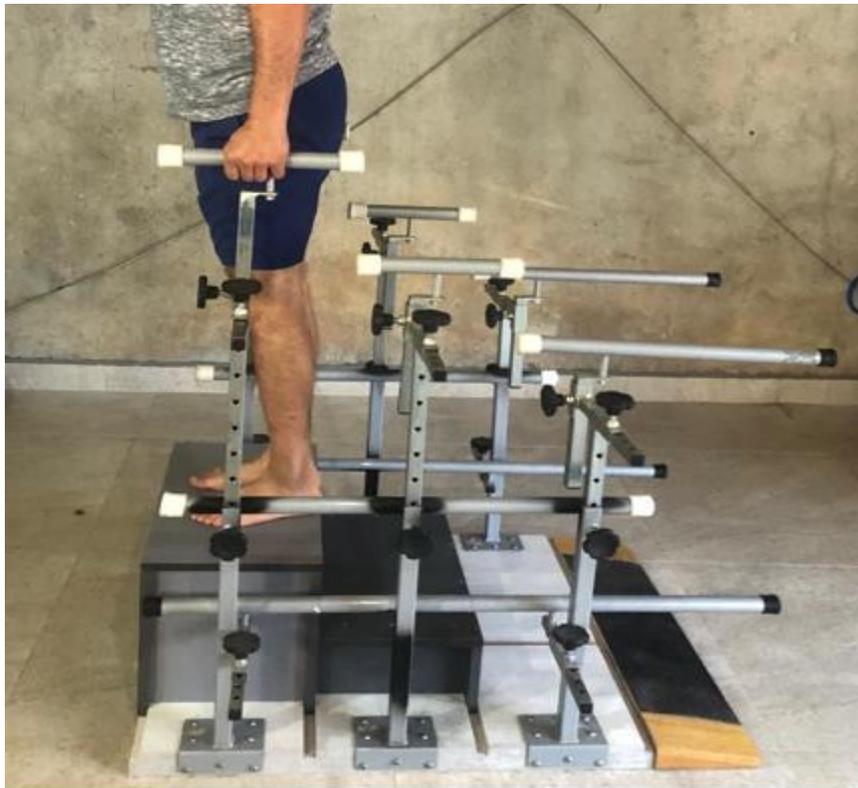
Para demonstrar o dispositivo montado com os diferentes módulos, o próprio pesquisador realizou alguns testes, simulando o funcionamento. Vale ressaltar que para demonstrar o funcionamento só foi construído um módulo da do dispositivo modular. Para a prática será necessário a construção de mais um módulo. Na Figura 6, o pesquisador utilizou o dispositivo na configuração adulto em conjunto com o módulo escada.

FIGURA 5. Análise de elementos finitos. A) Teste para deformação (elástica). B) Teste de estresse da torre (ruptura).



Fonte: Souza et al. (2023)

FIGURA 6. Protótipo construído configurado com o módulo escada para adultos.



Fonte: Souza et al. (2023)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dispositivo modular permite a utilização tanto de adultos quanto de crianças na função macha simples. Já na função com obstáculos permite a inclusão de escada para crianças, escada para adultos, e rampa atendendo as aplicações existentes no mercado, pois para a mesma aplicação necessitaria de uma barra paralela convencional, uma barra paralela com inclinação e uma barra paralela com função de escada, que demandaria um custo de três equipamentos. Na proposta apresentada o custo seria o mesmo de uma barra paralela dupla indicada para adultos e crianças.

Também na função de prevenção, observa-se um grande diferencial nas possibilidades de equilíbrio e força principalmente em idosos. Outra aplicação versátil é no treinamento de atletas de alta performance com variedades de treinamento.

AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

Agradecemos ao apoio financeiro da FAEP (Fundação de Apoio ao Ensino) e da Universidade de Mogi das Cruzes.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

1. Mochizuki L, Bigongiari A, Franciulli PM, Francica JV, Alonso AC, Ervilha UF, et al. The effect of gait training and exercise programs on gait and balance in post-stroke patients. *MedicalExpress*. 2015;2(4).
2. Suryo SH. Safety Factor Analysis of Sports and Physical Therapy Equipment Parallel Bars using FEM. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*. 2020;4(6):37.
3. Stott DJ, Quinn TJ. Principles of rehabilitation of older people. *Medicine*. 2017;45(1):1-5.
4. Morais AV, Tomaz G, Lazzareschi L, de Almeida DV, dos Santos MF, da Silva Boschi SRM, et al. Whole-body vibration on parallel bar device for gait and balance rehabilitation in stroke patients. *Research on Biomedical Engineering*. 2019;35:123-129.
5. Fernandes AM, da Silva MCG, da Silva KCC, Pereira RA, Markus GWS, Gonçalves DC, Dias AK. Atendimento de fisioterapia em uma paciente com sequela de acidente vascular encefálico: relato de experiência. *Multidebates*. 2021;5(3):108-117.
6. Edwards T, Pilutti LA. The effect of exercise training in adults with multiple sclerosis with severe mobility disability: a systematic review and future research directions. *Multiple sclerosis and related disorders*. 2017;16:31-39.
7. Kawahira K. Walking Training to Utilize the Function of the Affected Lower Limb. In *Exercise Therapy for Recovery from Hemiplegia: Theory and Practice of Repetitive Facilitative Exercise*. Singapore: Springer Nature Singapore. 2022;137-163.
8. Thomas M, George AR. To evaluate the significance of physiotherapy as a member in stroke rehabilitation team in Punarnava project. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*. 2023;10(1):250-255.
9. Mirin SNS, Mohsin TMM, Annuar KAM. Flexible Parallel Bar for Physiotherapy Purposes. *International Journal of Human and Technology Interaction (IJHaTI)*. 2019;3(1):55-64.
10. Rehabmart. Manual técnico da barra paralela de reabilitação com ajuste de altura eletrônico. [2012]. Disponível em: <https://www.rehabmart.com/product/armedica-electric-platform-mount-parallel-bars-34621.html>. Acesso em: 16 mar 2022.
11. Carci. Barra paralela dupla em aço pintado 3 metros. [2011]. Disponível em: <https://loja.carci.net/tratamento/mecanoterapia/tabladados/1060>. Acesso em: 20 fev. 2022.
12. Medicaexpo. Manual técnico da barra paralela de reabilitação com base. [2013]. Disponível em: <https://www.medicaexpo.com/pt/prod/chinesport/product-68032-556383.html>. Acesso em: 10 mar 2022.
13. Polifisio. Manual técnico da barra paralela com e sem tablado. [2013]. Disponível em: <https://www.polifisio.com.br/barra-paralela-aco-inox-zilmoveis>. Acesso em: 26 fev 2022.
14. Odebiyi DO, Adeagbo CA. Ambulatory devices: assessment and prescription. In *Prosthesis*. IntechOpen. 2020;1-29.
15. Abranches CDAF, Cavalleti ACL. Síndrome da imobilidade na pessoa idosa hospitalizada. *Research, Society and Development*. 2020;9(12):e1889129848-e1889129848.
16. Souza KC, Bertolini SMMG. Impactos morfofuncionais da imobilidade prolongada na terceira idade. *Revista Uningá*. 2019;56(S4):77-92.

-
17. Rodrigues MS, de Liz Sofiatti S, de Oliveira MM, Vieira KVS. A influência do treino de equilíbrio na reabilitação da marcha em pacientes pós-ave. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*. 2021;7(9):357-377.
 18. Zuge RW, Manfra EF. Efeitos de uma intervenção cinesioterapêutica e eletroterapêutica na cinemática da marcha de indivíduos hemiparéticos. *Revista Fisioterapia do Movimento, Curitiba*. 2009;22(4):547-556.
 19. Khalid K, Anwar N, Saghir M, Gill RA, Ahmed MI, Ahmad A. Current physical therapy practices and parental satisfaction for rehabilitation services of cerebral palsy children. *Rawal Medical Journal*. 2020;45(3):586-586.
 20. Cruz DMC, Zanona AF. *Reabilitação Pós- AVC: Terapia ocupacional e Interdisciplinaridade*. 1º ed. Rio de Janeiro: Medbook, 2023.
 21. Sarkar S, Das AK. Modular Assistive Devices for Elderly People to Overcome Age-Related Problems. In *Research into Design for a Connected World: Proceedings of ICoRD*. Springer Singapore. 2019;2:463-474.
 22. Inventor. Autodesk Inventor: Mechanical design software for ambitious ideas. [2017]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=INVPROSA>. Acesso em: 05 fev. 2022.
 23. Alves Filho A. *Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE*. 6º ed. São Paulo: Érica, 2013.