UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES
JEREMIAS SILVA DE SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE BARRA PARALELA DUPLA MODULAR MULTIFUNCIONAL

Mogi das Cruzes, SP
2023

UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES
JEREMIAS SILVA DE SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE BARRA PARALELA DUPLA MODULAR MULTIFUNCIONAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Mogi das Cruzes como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biomédica.
Área de concentração: Bioengenharia, Bioenergética e Biomecânica

Orientador: Prof. Dr. Terigi Augusto Scardovelli

Mogi das Cruzes, SP
2023

Ficha catalográfica
Universidade de Mogi das Cruzes - Biblioteca Central

Souza, Jeremias Silva de
S729d Desenvolvimento de barra paralela dupla modular multifuncional / Jeremias Silva de Souza. -- Mogi das Cruzes, SP: Universidade de Mogi das Cruzes, 2023.
61 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) -- Universidade de Mogi das Cruzes, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Terigi Augusto Scardovelli
Inclui bibliografia.

1. Plataforma de força 2. Reabilitação 3. Segurança do paciente 4. Modalidades de Fisioterapia I.Scardovellli, Terigi Augusto II.Universidade de Mogi das Cruzes III.Título

CDD 610.28

Elaborada por Maria Cristina Alves Silva Xavier – CRB-8/10077

ATAS

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA DA UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

Às quatorze horas do dia vinte e oito de junho de dois mil e vinte e três, pela Universidade de Mogi das Cruzes, realizou-se a defesa de dissertação intitulada "DESENVOLVIMENTO DE BARRA PARALELA DUPLA MODULAR MULTIFUNCIONAL" para obtenção do grau de mestre pelo(a) candidato(a) **Jeremias Silva de Souza.** Tendo sido o número de créditos alcançados pelo(a) mesmo(a) no total de 48 (quarenta e oito), a saber: 24 unidades de crédito em disciplinas de pós-graduação e 24 unidades de crédito no preparo da dissertação, o(a) aluno(a) perfaz assim os requisitos para obtenção do grau de mestre. A comissão examinadora estava constituída dos senhores professores doutores: Terigi Augusto Scardovelli, e Alessandro Pereira da Silva, da Universidade de Mogi das Cruzes, e Leandro Lazzareschi, do Centro Universitário São Camilo, sob a presidência do primeiro, como orientador da dissertação. A sessão pública da defesa de dissertação foi aberta pelo senhor presidente da comissão que apresentou o(a) candidato(a). Em seguida o(a) candidato(a) realizou uma apresentação oral da dissertação. Ao final da apresentação da dissertação, seguiram-se as arguições pelos membros da comissão examinadora. A seguir a comissão, em sessão secreta, conforme julgamento discriminado por cada membro, considerou o(a) candidato(a)

Aprovado (aprovado(a) /reprovado(a)) por unanimidade (unanimidade/maioria)

Mogi das Cruzes, 28 de junho de 2023.

Comissão Examinadora	Julgamento
LEANDRO LAZZARESCHI:14199032843 Assinado de forma digital por LEANDRO LAZZARESCHI:14199032843 Dados: 2023.06.28 19:35:02 -03'00'	
Prof. Dr. Leandro Lazzareschi	Aprovado (aprovado(a)/reprovado(a))
Assinado de forma digital por Alessandro Pereira da Silva Dados: 2023.06.28 19:40:46 -03'00'	
Prof. Dr. Alessandro Pereira da Silva	Aprovado (aprovado(a)/reprovado(a))
Assinado de forma digital por Terigi Scardovelli Dados: 2023.06.28 19:23:00 -03'00'	
Prof. Dr. Terigi Augusto Scardovelli	Aprovado (aprovado(a)/reprovado(a))

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Vera, que me mostrou o caminho para o conhecimento, com muito amor e dedicação, minha esposa Fernanda que sempre apoiou e incentivou a persistir e aos meus filhos Victor e Vinicius que sempre me apoiaram e incentivaram.

Ao professor orientador Terigi Augusto Scardovelli, pelo apoio e todo corpo docente do curso pelos ensinamentos prestados e a UMC.

RESUMO

A barra paralela é um equipamento, o qual é utilizado para auxiliar na reabilitação e prevenção de pessoas com deficiência motora (marcha, reforço muscular e equilíbrio). Hoje em dia, para conseguir realizar esses tratamentos são necessários três equipamentos de barras paralelas, sendo um para cada tipo de reabilitação, necessitando que o ambiente possua um espaço maior para a disposição desses equipamentos. Sendo assim, o objetivo desse projeto é propor o desenvolvimento de uma barra paralela dupla modular multifuncional, ou seja, 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. O método foi dividido em cinco etapas: modelagem do protótipo em software 3D; definição dos materiais utilizados; integração das atividades de marcha, exercícios de coordenação e condicionamento geral em um único equipamento modularizado; realizar os testes de elementos finitos e construção do protótipo em madeira e metal, enfim fizeram-se os testes, avaliando os resultados, propondo discussão de melhorias com a possibilidade de requerer patente futura. Os testes apresentaram excelente resultados com baixa deformação plástica . Não foi possível fazer a comparação dos resultados obtidos com as barras já existentes pelo não fornecimento dos dados pelos fabricantes, porém chegou à conclusão de que os testes foram satisfatórios, pois atendem a segurança do paciente, há eficiência no equipamento com níveis mínimos de deformação e bom dimensionamento quanto às tensões de estresse.

Palavras-chave: dispositivo; barras paralelas; reabilitação; prevenção; marcha; modular.

ABSTRACT

The parallel bar is an equipment, which is used to assist in the rehabilitation and prevention of people with motor disabilities (gait, muscle strengthening and balance). Nowadays, to be able to carry out these treatments, three equipment bars are needed in parallel, one for each type of rehabilitation, requiring that the environment had a larger space for the disposal of these equipment. Therefore, the objective of this project is to propose the development of a multifunctional modular double parallel bar, that is, a multifunctional modular device for training balance, strength and motor coordination, built in wood and steel, aiming at gait prevention and rehabilitation, strengthening muscle and balance of patients in a single piece of equipment, allowing the insertion of support such as ramps, steps and guides. The method was divided into five stages: prototype modeling in 3D software; definition of the materials used; integration of gait activities, coordination exercises and general accommodation in a single modularized equipment; carry out the finite element tests and build the prototype in wood and metal, finally the tests were carried out, evaluating the results, proposing a discussion of improvements with the possibility of applying for a patent in the future. The testicles showed excellent results with low plastic deformation. It was not possible to compare the results obtained with the existing bars due to the fact that the manufacturers did not supply the data, but it came to the conclusion that the tests were advanced, as they meet patient safety, there is efficiency in the equipment with minimal levels of deformation and good sizing in terms of stress stresses.

Keywords: device; parallel bars; rehabilitation; gait; modular.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclos da marcha. 14
Figura 2: Barra paralela sem tablado. 19
Figura 3: Barra paralela Quark sem tablado. 20
Figura 4: Barra paralela simples em aço inox ou pintado com tablado 2 ou 3 m com tablado. 21
Figura 5: Barra Paralela Quark com tablado. 21
Figura 6: Barra paralela dupla com plataforma. 22
Figura 7: Barra paralela de reabilitação com base. 23
Figura 8: Barra paralela de reabilitação com base e altura regulável. 24
Figura 9: Barra Paralela de reabilitação com inclinação. 24
Figura 10: Barra paralela de reabilitação SK-123 para correção da posição dos pés. 25
Figura 11: Barra paralela com sistema de suspensão. 26
Figura 12: Barra paralela de reabilitação com ajuste de altura eletrônico. 27
Figura 13: Barra paralela de caminhadas elétricas com ajuste de altura. 28
Figura 14: Dispositivo modular multifuncional em madeira. 31
Figura 15: Condição máxima de esforço -Deformação elástica 32
Figura 16: Condição máxima de esforço estresse (ruptura). 33
Figura 17: Base do dispositivo modular multifuncional fabricada em MDF. 34
Figura 18: Guia central fabricada em MDF. 35
Figura 19: Perspectiva isométrica do conjunto guias inferiores. 35
Figura 20: Torres de sustentação para regulagem de altura. a) três pares do lado esquerdo. b) três pares do lado direito. 36
Figura 21: Barra de regulagem transversal. 37
Figura 22: Barras de apoio. 37
Figura 23: Módulo escada para adultos. 38
Figura 24: Módulo escada para crianças. 38
Figura 25: Módulo rampa fabricado em MDF. 39
Figura 26: Dispositivo modular multifuncional (demonstração de um módulo). 40
Figura 27: Dispositivo modular multifuncional (perspectiva com dois módulos). 40
Figura 28: Dispositivo modular multifuncional (vista superior). 41
Figura 29: Dispositivo modular multifuncional (vista lateral direita). 41
Figura 30: Dispositivo modular multifuncional (vista frontal). 42
Figura 31: Dispositivo modular multifuncional – configurado para exercício de marcha com correção da posição dos pés (guia central). 42

Figura 32: Dispositivo modular multifuncional (perspectiva com degraus para adultos). 43
Figura 33: Dispositivo modular multifuncional – configurado para exercício de marcha, reforço muscular e equilíbrio com escada para crianças. 43
Figura 34: Dispositivo modular multifuncional - configurado para exercício de marcha, reforço muscular e equilíbrio com rampa para adultos ou crianças (visão lateral). 44
Figura 35: Dispositivo modular multifuncional - configurado para exercício de marcha, reforço muscular e equilíbrio com rampa para adultos ou crianças (visão em perspectiva). 44
Figura 36: Nós que formam o objeto conectado aos elementos finitos (malha). ..45
Figura 37: Teste para deformação (elástica). 47
Figura 38: Teste de estresse da torre (ruptura). 48
Figura 39: Escala de deformação elástica em mm. 49
Figura 40: Escala de estresse MPA. 50
Figura 41: Base do dispositivo fabricada em MDF. 50
Figura 42: Guia central fabricada em MDF. 51
Figura 43: Conjunto guias inferiores. 51
Figura 44: Torres de sustentação em aço carbono. 52
Figura 45: Barras de regulagem transversal. 52
Figura 46: Barras de apoio (corrimão). 53
Figura 47: Módulo escada. a) para adultos. b) para crianças. 53
Figura 48: Módulo rampa fabricado em MDF. 54
Figura 49: Módulo escada na configuração adulto sendo utilizado pelo pesquisador. 54
Figura 50: Módulo rampa sendo utilizado pelo pesquisador. 55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 OBJETIVOS 12
1.1.1 Objetivo Geral 12
1.1.2 Objetivos Específicos 12
2 CONCEITOS TEÓRICOS 13
2.1 DESENVOLVIMENTO MOTOR 13
2.1.1 Marcha 13
2.2 BARRA PARALELA 15
2.2.1 Principais características 15
2.3 BARRA PARALELA E REABILITAÇÃO 15
3 CONTEXTUALIZAÇÃO 17
3.1 UTILIZAÇÃO DE BARRAS PARALELAS EM PESQUISAS 17
3.2 BARRAS PARALELAS COMERCIAIS 19
3.2.1 Barra paralela sem tablado 19
3.2.2 Barra paralela com tablado 20
3.2.3 Barra paralela dupla com tablado 21
3.2.4 Barras paralelas com inclinação 23
3.2.5 Barras paralelas com correção da posição dos pés 25
3.2.6 Barra paralela com sistema de suspensão 25
3.2.7 Barras paralelas com sistema eletrônico 26
4 MATERIAIS E MÉTODO 29
4.1 ETAPAS 29
4.1.1 Modelagem do projeto em *software* 3D 29
4.1.2 Definição dos materiais utilizados 29
4.1.3 Analisar a modularidade e usabilidade 29
4.1.4 Testes de elementos finitos 29
4.1.5 Construção do Protótipo 29
4.2 FERRAMENTAS 30
4.2.1 MATERIAIS 30
4.3 MODELAGEM 31
4.3.1 Proposta Inicial 31
4.3.2 Detalhamento da construção dispositivo modular multifuncional 33
4.3.3 Base 33
4.3.4 Visão geral do dispositivo modular multifuncional 39
4.4 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS 45
4.5 PROTOCOLO DE TESTES 46
5 RESULTADOS 47
5.1 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS 47
5.1.1 Condição máxima de esforço -Deformação elástica 47

5.1.2 Condição máxima de esforço estresse (ruptura). 48
5.1.3 Resultados 49
5.2 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO 50
5.2.1 Base 50
5.2.2 Guia Central 51
5.2.3 Conjunto guias inferiores 51
5.2.4 Torres de sustentação 52
5.2.5 Barras de regulagem transversais 52
5.2.6 Barras de apoio 53
5.2.7 Módulo escada 53
5.2.8 Módulo rampa 53
5.3 MÓDULOS MONTADOS 54
6 DISCUSSÃO 56
7 CONCLUSÃO 57
8 TRABALHOS FUTUROS 58
REFERÊNCIAS 59

1 INTRODUÇÃO

A barra paralela é um equipamento utilizado para auxiliar pessoas com deficiência motora, em caráter preventivo e gestos esportivos visando melhor performance, a qual consiste em uma plataforma com piso ante derrapante e duas barras paralelas de apoio com um comprimento que variam de 2 a 3 metros (REHABMART, 2022; CARCI, 2022a; MEDICALEXPO, 2022; POLIFISIO, 2022).

Há diversos modelos no mercado como a barra paralela 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 (REHABMART, 2022; CARCI, 2022a; MEDICALEXPO, 2022; POLIFISIO, 2022).

As principais aplicações de tratamento com as barras paralelas se aplicam em disfunções motoras atreladas as clínicas neurológica, reumatológica, geriátrica, pediátricas, pacientes pós-operatórios e atletas de alta performance (ZUGE; MANFFRA, 2009).

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. O treino de marcha é um tratamento que possui como principal objetivo a recuperação da força e do equilíbrio do paciente (CRUZ; ZANONA, 2023.) 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 (CRUZ; ZANONA, 2023). A barra paralela também pode ser utilizada para os indivíduos com problemas de equilíbrio e coordenação, permitindo exercícios que melhoram a amplitude do movimento. 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 (CARCI, 2022b; MEDICALEXPO, 2022; POLIFISIO, 2022).

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 todos os 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.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento de uma barra paralela dupla modular multifuncional, ou seja, um dispositivo modular multifuncional para treinamento de equilíbrio, força e coordenação motora visando a reabilitação de marcha, fortalecimento muscular, 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 adultos, escada para crianças.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a estrutura dispositivo modular multifuncional;
- Analisar o material de fabricação (carga e resistência);
- Analisar a modularização de rampa e escada e guias;
- Analisar a segurança do equipamento;
- Validar a usabilidade;
- Analisar a construção de protótipo em escala natural;
- Realizar testes com o protótipo com o próprio pesquisador.

2 CONCEITOS TEÓRICOS

Inicialmente serão abordados alguns conceitos de desenvolvimento motor, marcha, equilíbrio e reabilitação, a fim de embasar os tratamentos que utilizam barras paralelas.

2.1 DESENVOLVIMENTO MOTOR

De acordo com Haywood e Getchell (2016), o desenvolvimento motor pode ser definido como as alterações de desenvolvimento no movimento contínuo relacionadas à idade, bem como fatores responsáveis por essas mudanças.

Para Gallahue, Ozmun e Araújo (2013) também pode ser definido como alteração ao longo da vida do comportamento motor, resultantes das interações entre as características do indivíduo (hereditárias, físicas e mentais), as influências dos ambientes (fatores de experiências e aprendizagem vivenciados) e atividades motoras que induzem essas mudanças.

Dentre as características do indivíduo englobam altura, peso, força, motivação e autoestima. Já as influências do ambiente englobam o local onde isso ocorre como temperatura, quantidade de luz, umidade, superfície de pisos e paredes (GALLAHUE; OZMUN, 2005; GALLAHUE, 2000). Elas interagem entre si, e consequentemente apresentam potencial para se modificarem na aquisição do controle e competência motora, ou seja, um estímulo do ambiente muda as características do indivíduo e vice-versa alterando as capacidades motoras tanto no controle quanto na competência (GALLAHUE; OZMUN, 2005; GALLAHUE, 2000).

2.1.1 Marcha

A marcha é um movimento cíclico. O ciclo da marcha é definido por diferentes autores, como o intervalo sucessivo do toque do calcanhar do mesmo pé com o solo, portanto, compreende dois passos, ou uma passada (PERRY, 2005).

2.1.1.1 Biomecânica da marcha – Cinemática

Segundo Faloppa e Albertoni (2008):

Cadência: É número de passos em uma unidade de tempo (passos por minuto).

Passo: É o espaço compreendido em um contato inicial de um pé e o contato inicial do pé contralateral no solo. É mensurado por tempo ou comprimento.

Passada: É o espaço compreendido em um contato inicial de um pé no solo e um nono contato inicial do mesmo pé.

Ciclo de Marcha: É o conjunto de fenômenos compreendido dentro de uma passada, correspondentes à sequência de funções de um membro, os quais se repetem a cada novo contato. Dividem-se em quatro ciclos:

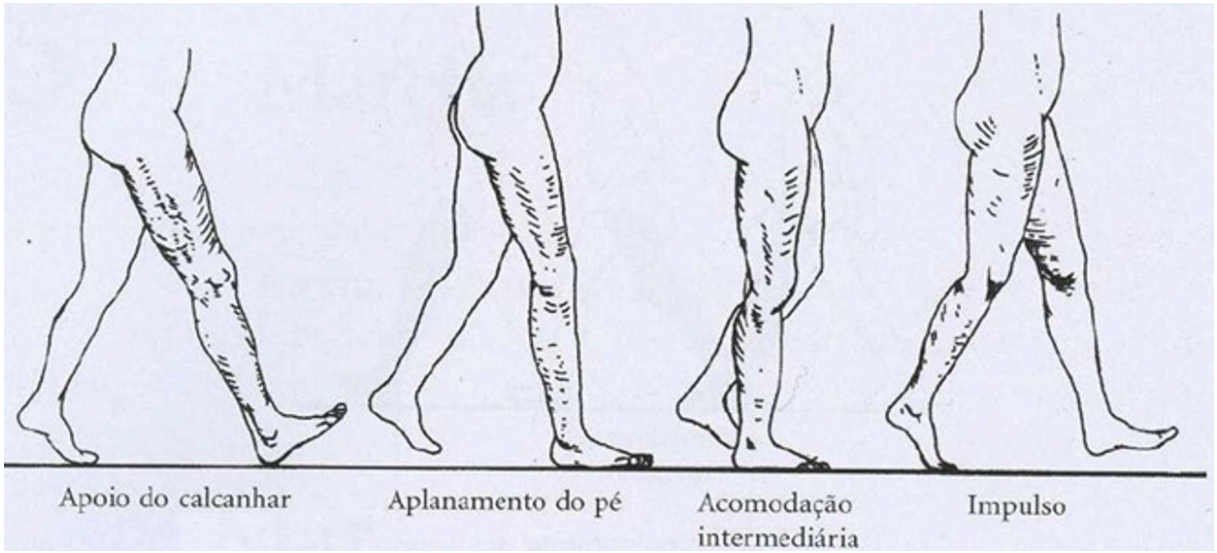
1- Apoio do calcanhar;

2- Aplanamento do pé;

3- Acomodação intermediaria;

4- Impulso.

Figura 1: Ciclos da marcha.



Fonte: Fernandes (2022)

2.1.1.2 Fases da Marcha

Fase de apoio: Permite a progressão mantendo a sustentação do peso do corpo e estabilidade, corresponde a 60% do tempo da marcha (PERRY, 2004).

Fase de balanço: É a fase que ocorre o levantamento do pé do solo, o avanço do membro no espaço e a preparação para o próximo apoio corresponde a 40% do tempo de marcha (PERRY, 2004).

2.2 BARRA PARALELA

A barra paralela é um equipamento utilizado para auxiliar pessoas com deficiência motora que consiste em uma plataforma ou piso antiderrapante e duas barras paralelas de apoio com um comprimento padronizado (REHABMART, 2022; CARCI, 2022a; MEDICALEXPO, 2022; POLIFISIO, 2022).

2.2.1 Principais características

A plataforma ou piso antiderrapante é de madeira ou resina com duas barras paralelas fabricadas em aço ou carbono, aço inoxidável, componentes PU e madeira (REHABMART, 2022; CARCI, 2022b; MEDICALEXPO, 2022; POLIFISIO, 2022). Alguns modelos possuem regulagem de altura e regulagem lateral entre as Barras, proporcionando os diversos ajustes de acordo com o biótipo do paciente e o tipo de patologia, podendo ser retas paralelas, inclinadas, com ou sem obstáculos. As dimensões comerciais variam de 2 a 3 metros de comprimento, os sistemas de regulagem de altura variam de 77 cm a 104 cm e a largura de 52 cm a 70 cm podendo ser utilizado para adultos e crianças. Hoje, existem desde a mais simples com parafusos, até a mais sofisticada, com controle eletroeletrônico de altura e inclinação, além de alguns modelos possuírem um pórtico acima da barra com cintas para apoio do paciente. As barras devem ser fixadas ao solo, de acordo com os manuais de utilização dos equipamentos, a maioria está dimensionada para cargas de até 130 kg (QUARK, 2022; CARCI, 2022b). As regulagens de altura ou lateral são feitas por meio de parafusos com manípulos de aço com PVC (QUARK, 2022; CARCI, 2022b).

2.3 BARRA PARALELA E REABILITAÇÃO

Uma das principais funções das barras paralelas é a reabilitação da marcha perdida, em pacientes com doenças neurológicas (ZUGE; MANFFRA, 2009). Doenças relacionadas ao cérebro e outras deficiências, como por exemplo, deficiência motora, também atrofia muscular, recuperação de cirurgias, traumatismo, acidente que afeta a marcha normalmente associada há muito tempo em cadeira de rodas com perda de massa muscular, onde as barras servem para condicionamento geral, recuperando a força e o equilíbrio (MOTA *et al.*, 2011). Já nos exercícios de coordenação, as barras

auxiliam na recuperação da amplitude dos movimentos (QUARK, 2022; CARCI, 2022b).

Em pacientes que realizam fisioterapia regular, as barras melhoram diversos problemas, como fraquezas, tonturas, cognição, baixa autoestima e até depressão (QUARK, 2022; CARCI, 2022b).

A reabilitação com barras paralelas apresenta como meta produzir tolerância do paciente ficar na posição em pé e sustentar o peso de seu corpo; manter-se equilibrado em pé; treinar seu controle pélvico, além de aprender o padrão básico da marcha para se equilibrar com muletas, bengalas ou andadores (BREUNIG *et al*., 2019).

Os pacientes devem durante a reabilitação com barras paralelas interagirem com um programa composto pelo fisioterapeuta, composto por conhecimentos que irão ajudar na autonomia de forma mais cuidadosa de acordo com suas necessidades e condições (QUARK, 2022; CARCI, 2022b).

3 CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1 UTILIZAÇÃO DE BARRAS PARALELAS EM PESQUISAS

Com relação ao equilíbrio, trata- se de um dos recursos que pode ser utilizado para a reabilitação são as barras paralelas que podem ser usados com as crianças que possuem idade bem próxima dos 10 anos, pois já possuem um grau de entendimento bem maior no que tange a tratamento (NOGUEIRA; MEJIA, 2008). É um recurso mecanoterapêutico utilizado para reduzir a ação do peso corpóreo nos membros inferiores, utilizar durante o processo de reabilitação para descarga de peso, treinamento de marcha, equilíbrio, exercícios de propriocepção e correção postural. E sempre que possível deve-se recomendar a marcha com carga com o objetivo de minimizar os efeitos deletérios da imobilização e evitar a atrofia muscular (NOGUEIRA; MEJIA, 2008).

Já, com as crianças, esse recurso deve ser utilizado com alguns acessórios que as levem a serem estimuladas a realizarem os exercícios. Esses recursos podem ser marcações no chão, obstáculos para subir e descer e outros que podem ser realizados conforme a criatividade e disponibilidade de recurso do fisioterapeuta. Diante da barra paralela, é imprescindível a presença de espelhos que possibilitam ao doente visualizar o treinamento efetuado, sendo que, no caso das crianças é também um entretenimento que pode ajudá-las no estímulo para realização dos exercícios e da postura assumida, melhorando com *feedback* visual o padrão correto de marcha e postura (NOGUEIRA; MEJIA, 2008).

Em estudo realizado por El-Basatiny e Abdel-Aziem (2015) visou estudar o efeito do treinamento adicional de caminhada para trás no controle postural em 30 crianças, 16 meninas e 16 meninos, com faixa etária de 10 a 14 anos com paralisia cerebral hemiparética espástica.

Os resultados mostraram melhora nos índices de estabilidade anteroposterior, mediolateral e global para ambos os grupos. No entanto, o grupo experimental que recebeu treinamento de caminhada para trás nas barras paralelas além do programa de fisioterapia convencional teve melhora maior nos valores dos índices de estabilidade em comparação com o grupo controle que recebeu fisioterapia convencional (EL-BASATINY; ABDEL-AZIEM, 2015).

Verificou-se que um programa de caminhada para trás em barras paralelas aumentou significativamente a velocidade, o comprimento do passo e o comprimento da passada em um grupo de indivíduos. Assim treinar um indivíduo em marcha para trás pode fornecer adaptabilidade neural que melhora a eficiência neuromuscular (EL-BASATINY; ABDEL-AZIEM, 2015).

Visintin e Barbeau (1994) descreveram os efeitos quantitativos e qualitativos da caminhada com e sem barras paralelas, com suspensor de peso corporal (SPC) e em velocidade aumentada em esteira no padrão locomotor de 8 indivíduos paréticos espásticos com idade variando de 22 a 42 anos (média=27,5 anos). Embora se acredite que, a remoção das barras paralelas produz uma deterioração no padrão de marcha, foi demonstrada que em pacientes com um padrão de marcha assimétrico, a remoção das barras paralelas diminuirá a oportunidade de compensação, permitindo assim, a expressão de um padrão de marcha mais normal.

Se sem barras paralelas a tarefa locomotora for difícil, o SPC pode ser incorporado ao regime de treinamento para facilitar a marcha. Para aqueles indivíduos que são incapazes de andar sem barras paralelas a 0% SPC, fornecer 40% SPC permite o treino de marcha sem barras paralelas e minimiza o desenvolvimento de um padrão de marcha compensatório. Em pacientes envolvidos simetricamente, as barras paralelas podem ser removidas e a estabilidade postural aumentada com SPC durante o retreinamento (VISINTIN; BARBEAU, 1994).

Já Ricklin, Meyer-heim e Van Hedel (2018) também descreveram os efeitos quantitativos e qualitativos da caminha com e sem barra paralela em 30 meninos hemofílicos com idade entre 10 e 14 anos. Os resultados obtidos mostraram uma melhora significativa nos valores médios pós-tratamento de todas as variáveis de mensuração dos índices de estabilidade e parâmetros da marcha de ambos os grupos em favor da esteira. Assim, recomenda-se a inclusão da esteira como componente principal nos programas fisioterapêuticos direcionados à melhora do equilíbrio e da marcha dessas crianças.

3.2 BARRAS PARALELAS COMERCIAIS

3.2.1 Barra paralela sem tablado

A barra paralela sem tablado (POLIFISIO, 2022) possui ponteiras nas extremidades para total segurança do paciente e manípulos para regulagem da altura e distância dos corrimãos, para facilitar a adequação do mesmo, na hora de realizar algum exercício na barra paralela sem tablado (Figura 2).

É indicada como apoio para a realização do treino de marcha, isto é, deambulação, e ao treino proprioceptivo. É observado o desenvolvimento e evolução da capacidade muscular do paciente durante o exercício funcional, portanto altamente eficiente (POLIFISIO, 2022). A Figura 2 apresenta a barra produzida pela Polifisio.

Figura 2: Barra paralela sem tablado.



Fonte: Polifisio (2022)

Outra barra paralela desenvolvida pelo fabricante Quark sem tablado foi concebida para fornecer ao profissional da área de Fisioterapia máxima confiabilidade e facilidade de utilização (QUARK, 2022). A deambulação é um objetivo funcional primário para a maioria dos pacientes. É necessária uma compreensão abrangente da função muscular durante a marcha para que haja especificidade na prescrição do exercício e no retreinamento funcional. Para ser eficiente e efetivo na prescrição do exercício é importante restaurar o tipo de contração muscular e a fase precisa da marcha, na qual os músculos funcionam. A barra paralela oferece apoio bilateral, o que favorece a estabilidade e proporciona auxílio ao treino proprioceptivo e ao treino de marcha (QUARK, 2022). Essa barra apresenta as seguintes características: 2

metros de comprimento, largura regulável de 35 cm a 70 cm e altura regulável de 69 cm a 120 cm (Figura 3).

Figura 3: Barra paralela Quark sem tablado.



Fonte: Quark (2022)

3.2.2 Barra paralela com tablado

Existem as barras paralelas com tablado, como por exemplo, a produzida pela CARCI (CARCI, 2022a). É uma barra paralela simples em aço inox, de 2 metros de comprimento (Figura 4) indicado para: treino de marcha com ou sem auxílio de órtese, treino de equilíbrio e transferência de peso. Essa barra apresenta as seguintes características:

- 2 ou 3 metros de comprimento por 0,80 m de largura;
- 2 corrimãos com estrutura em tubo de aço inox;
- 2 corrimãos horizontais com regulagem de altura 0,52 m a 0,90 m largura 0,39 m a 0,60 m;
- 2 barras verticais de cada lado com pintura eletrostática com verniz;
- plataforma com base compensado e armação em madeira maciça; e
- revestida em piso sintético antiderrapante.

Figura 4: Barra paralela simples em aço inox ou pintado com tablado 2 ou 3 m com tablado.



Fonte: Carci (2022a)

A empresa Quark também fabrica uma barra paralela com tablado (QUARK, 2022), com 2 metros de comprimento, largura regulável de 35 cm a 70 cm e altura regulável 69 cm a 120 cm (Figura 5).

Figura 5: Barra Paralela Quark com tablado.



Fonte: Quark (2022)

3.2.3 Barra paralela dupla com tablado

As barras paralelas dupla (CARCI, 2022b) foram construídas para atenderem com total eficácia e segurança treinos de marcha, com ou sem auxílio de órteses, bem como treino de equilíbrio e transferência de peso. A versão “dupla” é indicada para crianças pequenas, pois possui regulagem de largura e altura em maior escala. A

empresa CARCI tem o modelo 2 (Figura 6), barra paralela dupla em aço inox ou pintado de 3 m com tablado com as seguintes características:

- 3 metros de comprimento;
- Corrimãos com estrutura em tubo de aço pintado após prévio tratamento antiferruginoso (Ref. 1060) ou em tubo de aço inox (Ref. 1060/I);
- Corrimãos horizontais com regulagem de altura e largura;
- 3 barras verticais de cada lado com pintura eletrostática com verniz;
- Plataforma de madeira revestida em piso sintético antiderrapante; e
- Divisão abdutora central removível.

Figura 6: Barra paralela dupla com plataforma.



Fonte: Carci (2022b)

Outro fabricante é Chinesport que desenvolveu um sistema de barras paralelas de 2 metros de comprimento utilizado para atividades de treino físico e de reabilitação (MEDICALEXPO, 2022). É composto por uma estrutura de aço pintado e um rodapé laminado de madeira, à prova de desgaste, dotado de rampa de acesso. Os corrimãos ajustáveis são em material termoplástico e antideslizante. Todas as peças podem ser facilmente lavadas. A altura dos corrimãos pode ser ajustada entre 74 e 102 cm, tornando-os adequados para utilizadores adultos. Estas barras paralelas podem ser ajustadas em altura com o inovador "STandGOSystemTM", o que permite uma adaptação imediata à construção do utilizador, tanto adultos como crianças. A altura dos corrimãos também pode ser modificada durante a reabilitação, assim como a

distância entre os corrimãos. Os módulos ou bolsas termoplásticas podem ser utilizados na prancha para criar percursos pedonais terapêuticos específicos de reabilitação. A modularidade permite criar sistemas de barras paralelas com o comprimento desejado, removendo os voos de acesso do lado de junção. Os módulos ou bolsas termoplásticas podem ser utilizados para criarem percursos de reabilitação terapêutica específicos. Essa barra paralela apresenta as seguintes características:

- Dimensões máximas (cm): 211 x 81 x 108.
- Sistema de ajuste de altura do corrimão: sprint duplo a gás altura mínima - altura máxima do corrimão (cm): 74 – 102.
- Sistema de ajuste de largura do corrimão: manual, 3 posições, largura do corrimão min - max (cm): 55 – 71.
- Capacidade de carga individual do corrimão:135 Kg, modularidade (combinação de mais barras paralelas).
- Deslizador de acesso removível.
- Peso: 73 Kg.

Figura 7: Barra paralela de reabilitação com base.



Fonte: Medicalexpo (2022)

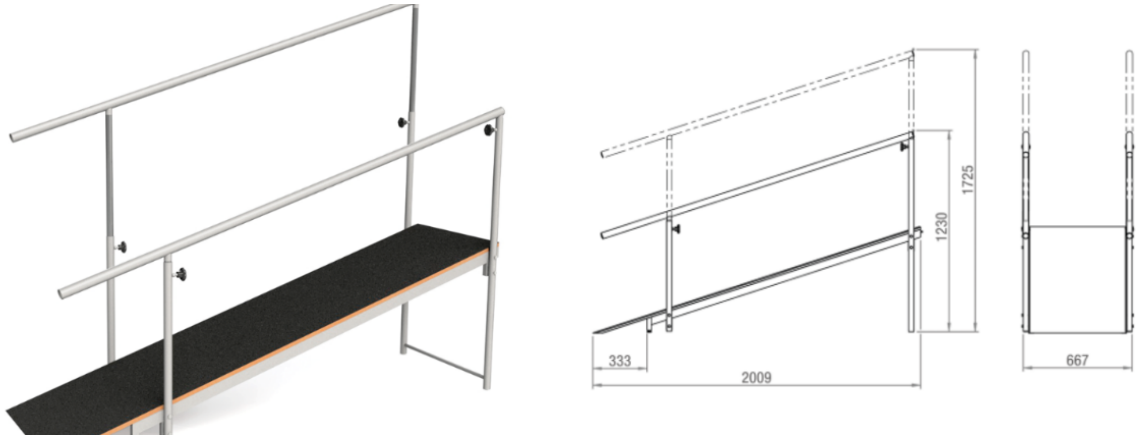
3.2.4 Barras paralelas com inclinação

As barras paralelas com inclinação permitem o treinamento em rampa. Um fabricante é o JMS - *Healthcare Furniture* que desenvolveu uma barra paralela de reabilitação de altura regulável (JMSHOSPITALAR, 2022). Essa barra tem uma estrutura de aço com acabamento epóxi, rampa em MDF (*Medium Density Fiberboard*

ou Fibras de Média Densidade) resistente ao deslizamento com altura regulável com base (Figura 8). Características:

- Dimensões máximas (cm): comprimento 200 x largura 60 e altura regulável 1230 – 1725.
- Peso: 38 kg.
- Carga máxima: 160 kg.

Figura 8: Barra paralela de reabilitação com base e altura regulável.



Fonte: Jmshospitalar (2022)

Outro fabricante é Arkus com uma barra paralela desenvolvida em tubo redondo de 1" 1/2 C.18 em aço laminado a frio com tampa de borracha nas extremidades (ARKUS, 2022). Possui manivelas de regulagem de altura variando de 70 cm a 1 m de acordo com a necessidade do paciente, e com comprimento de 3 metros e largura de 70 cm (Figura 9).

Figura 9: Barra Paralela de reabilitação com inclinação.



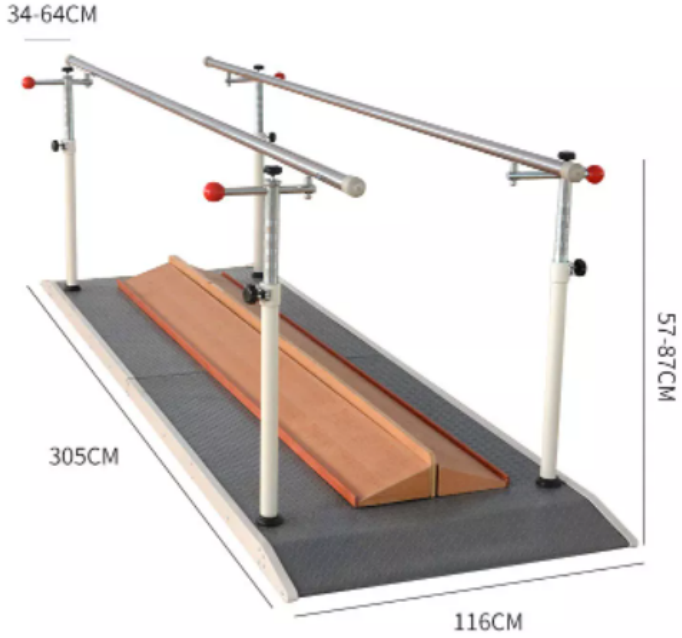
Fonte: Arkus (2022)

3.2.5 Barras paralelas com correção da posição dos pés

Essas barras paralelas permitem o treinamento e reabilitação de marcha, correção da posição dos pés reforçando o quadril e a estabilidade na caminhada (SHENGKANG, 2022). O fabricante SHENGKANG desenvolveu a SK-123 (Figura 10), com as seguintes características:

- Comprimento 305 x largura 116 altura 57 cm.
- Ajuste de altura 57 a 87 cm.
- Ajuste de largura de 34 a 64 cm.
- Peso máximo 80 kg.

Figura 10: Barra paralela de reabilitação SK-123 para correção da posição dos pés.



Fonte: Shengkang (2022)

3.2.6 Barra paralela com sistema de suspensão

O fabricante Ortotecsa desenvolveu uma barra paralela com sistema de suspensão (ORTOTECSA, 2022). Devido à sua construção totalmente metálica e à secção do material utilizado, com as placas de base ponderadas, conseguiu-se uma grande estabilidade. A altura das bases do piso foi reduzida ao máximo, facilitando a passagem para a área de caminhada, ajustável em altura (68-98 cm) por pinos ocultos nas colunas superiores. Essa Barra possui acabamentos em cromo e poliéster e tem as seguintes dimensões: comprimento 350 cm e largura 70 cm (Figura 11).

Figura 11: Barra paralela com sistema de suspensão.



Fonte: Ortotecsa (2022)

3.2.7 Barras paralelas com sistema eletrônico

O fabricante Armédica Manufacturing desenvolveu uma barra que combina o designer tradicional da plataforma de barras paralelas com um *display* digital, microprocessador primeiro-segurança e ajuste de altura elétrico para um casamento perfeito entre tradição e tecnologia (REHABMART, 2022) (Figura 12). A Barra Paralela tem as seguintes características:

- Quatro botões de armazenamento de memória funcionam como predefinições de rádio para salvar quatro posições de altura das barras.
- O ajuste de altura assistido por energia permite a personalização para cada paciente com ajuste sem esforço.
- Display digital e mostras do painel de controle de fácil utilização exata altura da barra para ajustes mais precisos.
- A unidade de controle do microprocessador protege contra o desalinhamento dos ajustes da barra para uma função sem problemas.
- Laminado, a plataforma antiderrapante fornece a estabilidade de barras paralelas, sem a necessidade de prender ao chão ou parede.

- Ajustes altura – 27 a 53 cm – ajuste eletrônico.
- Ajuste da largura – 15 a 29 ajustado manualmente.
- Peso máximo de 50 kg.
- Comprimento e altura, não informado, apenas a referência AMTM702.

Figura 12: Barra paralela de reabilitação com ajuste de altura eletrônico.



Fonte: Rehabmart (2022)

Outro fabricante que também desenvolveu uma barra paralela elétrica com altura ajustável foi o *Rehab Technolog* (REHABTECHNOLOGY, 2022). A função elétrica permite que o praticante ajuste as barras de acordo com a altura necessária do paciente. Se, por exemplo, o paciente estiver em uma cadeira de rodas, as barras podem ser usadas para levantá-lo para a posição de pé, removendo quaisquer problemas de SSO e possíveis lesões.

Como a unidade se aparafusa diretamente ao chão, não há obstáculos para o cliente negociar enquanto caminha, permitindo que ele se concentre totalmente nas instruções de seus praticantes (Figura 13). Essa Barra apresenta as seguintes características:

- Design simples fornece facilidade de operação.
- Botão de parada de emergência.
- Os braços operam independentemente.
- Operado por bateria.
- Ajuste de altura 650 - 1000mm.
- Barras de aço inoxidável.

- Parafuso à base de aterramento.
- Perigo mínimo de viagem.
- 200kg capacidade por trilho.
- Largura sugerida de 650 mm.
- Comprimento 3,4,5,6 e 8 m.

Figura 13: Barra paralela de caminhadas elétricas com ajuste de altura.



Fonte: Rehabtechnology (2022)

4 MATERIAIS E MÉTODO

4.1 ETAPAS

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

4.1.1 Modelagem do projeto em *software* 3D

Para a modelagem 3D foi utilizado o *software* Inventor, versão 2017, onde foram modeladas, e montadas as peças.

4.1.2 Definição dos materiais utilizados

Foram utilizados madeira e aço para modelagem e construção do dispositivo, sendo a madeira na base, e os acessórios de rampa, escada para criança, escada para adultos, e guia central. Para a guias de sustentação serão utilizados aço ao carbono.

4.1.3 Analisar a modularidade e usabilidade

Os acessórios de rampa foram analisados: escada para adultos, escada para crianças, guia central bem como a usabilidade e modularidade de cada acessório, visando a segurança do paciente.

4.1.4 Testes de elementos finitos

Testes de elementos finitos foram realizados visando o dimensionamento dos materiais utilizados e sua segurança.

4.1.5 Construção do Protótipo

Para posterior validação dos testes clínicos um módulo foi construído em escala natural.

4.2 FERRAMENTAS

Para a modelagem inicial do dispositivo foi utilizado o *software* Inventor 3D (INVENTOR, 2022), 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. Já na construção do protótipo foram utilizadas máquinas de usinagem para construção e montagem das peças.

4.2.1 MATERIAIS

Para construção do dispositivo foram utilizados madeira (MDF) e aço ao carbono. A madeira foi utilizada na base, módulo rampa, módulo escada e guia central; em razão de baixo custo, boa aderência e resistência mecânica (Tabela 1).

Tabela 1: Propriedades da madeira utilizada, dados retirados e traduzidos da biblioteca do *software* na especificação dos materiais.

Propriedade	Valor
Densidade	600,000 Kg/Mˆ3
Coeficiente térmico de expansão	0,0000/C
Condutividade térmica	0,000 kw/ m-c
Calor específico	0,000 J/kg-C
Módulo de elasticidade	8090,000 MPA
Tensão de escoamento	57,010 MPA
Estresse final	57,010 MPA
Alongamento	0

Fonte: Inventor (2022)

Já o aço ao carbono (Tabela 2) foi aplicado nas partes de maior esforço mecânico como torre de sustentação, sistema de guias laterais, guia transversal e barra de apoio (corrimão).

Tabela 2: Propriedades do aço utilizado. Dados retirados e traduzidos da biblioteca do *software* na especificação dos materiais.

Propriedade	Valor
Densidade	7750,000 Kg/Mˆ3
Coeficiente térmico de expansão	0,0000/C
Condutividade térmica	0,017 kw/ m-c
Calor específico	502,000 J/kg-C
Módulo de elasticidade	193053,196 MPA
Tensão de escoamento	310,264 MPA
Estresse final	641,212 MPA
Alongamento	0

Fonte: Inventor (2022)

4.3 MODELAGEM

4.3.1 Proposta Inicial

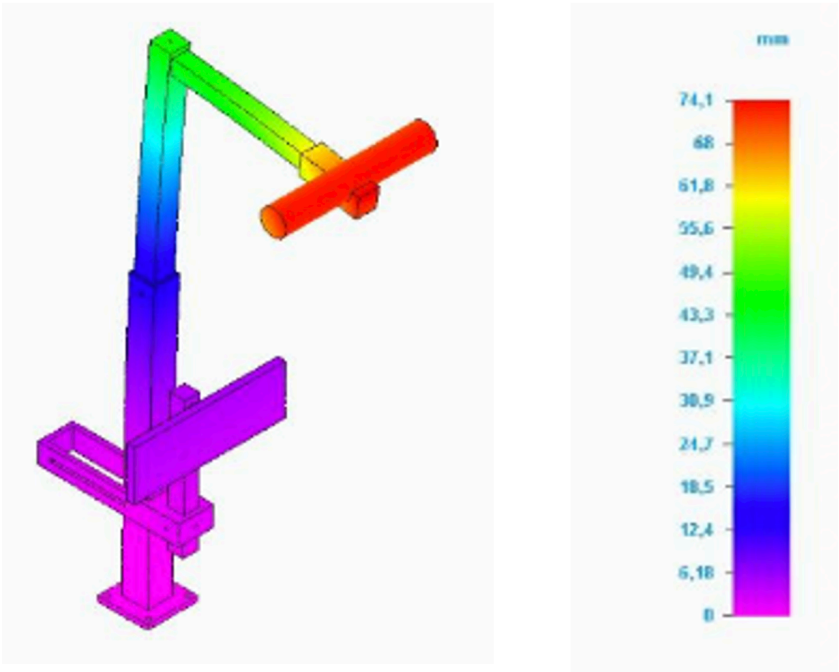
Até a qualificação deste projeto a proposta inicial era construir um dispositivo modular multifuncional de 3 metros totalmente em madeira como material principal para construção da estrutura (Figura 14).

Figura 14: Dispositivo modular multifuncional em madeira.



Porém após os testes de elementos finitos observou que as torres de sustentação não suportariam o esforço, conforme teste realizado (Figura 15).

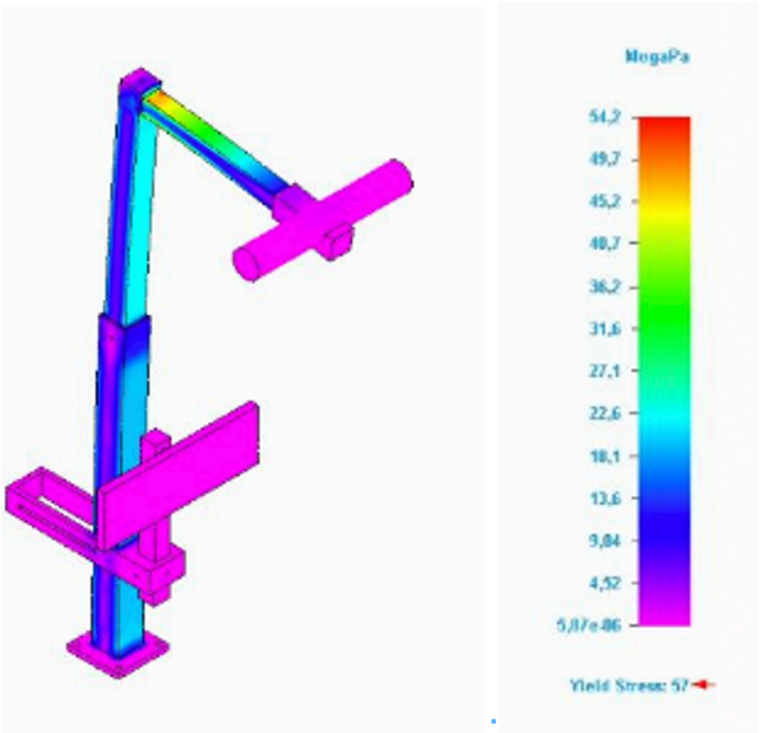
Figura 15: Condição máxima de esforço -Deformação elástica



Neste teste de elementos finitos, a barra estava na altura máxima e guia transversal na regulagem máxima. Esse é maior esforço devido à alavanca gerada pela guia transversal em relação ao ponto de apoio.

As cores representam a simulação da deformação de uma carga de 65kgf aplicada na barra de apoio. A escala de cores acompanhada do valor da deformação em mm, onde na deformação 0 mm, está na cor rosa e a deformação 74,1 mm representado pela cor vermelho. Observa-se uma deformação elástica máxima de 74,1mm concentrada na barra de apoio (cor vermelho) e analisando as cores, chega à análise de deformação em mm de toda a estrutura. O resultado apresentado se encontra insatisfatório ocorrendo rico ao paciente devida elevada deformação plástica.

Figura 16: Condição máxima de esforço estresse (ruptura).



Analisando os resultados o ponto de maior estresse 54,2 MPA ficou próximo ao ponto de ruptura de 57 MPA, sendo insatisfatório para aplicação desejada e oferecendo risco ao paciente.

Com isso ocorreu a necessidade de alteração total do projeto da estrutura, mesclando madeira e aço.

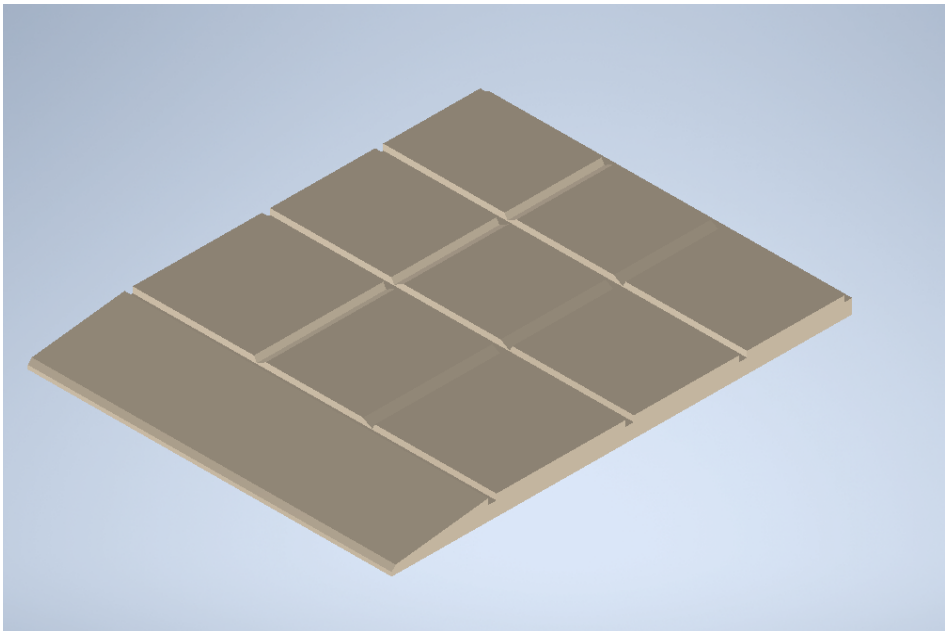
4.3.2 Detalhamento da construção dispositivo modular multifuncional

4.3.3 Base

A base foi fabricada em MDF (*Medium Density Fiberboard*), painel de fibra de densidade média. O MDF é feito com fibras de madeira e resina sintética (Duratex fabricante), proporcionando um material uniforme, com canais transversais para encaixe do acessório de degrau, rampa e canais longitudinais para encaixe do acessório de guia para os pés.

A base (Figura 17) 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.

Figura 17: Base do dispositivo modular multifuncional fabricada em MDF.



A base tem as seguintes dimensões:

Comprimento 1100 mm possibilitando encaixe de 2 degraus de acordo com a ABNT NBR 9077 referente à altura comprimento para escadas.

Largura: útil de 555 mm.

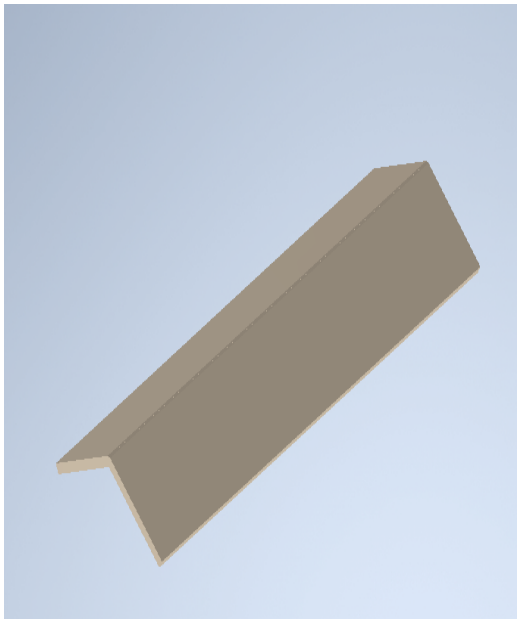
Largura total: 800 mm para posteriormente com os demais componentes permitir uma área útil 555 mm.

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.

4.3.3.1 Guia Central

A guia central (Figura 18) 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, além do baixo custo. A guia tem 860 mm de comprimento, 120 mm de largura de cada lado formando o ângulo de 45º graus.

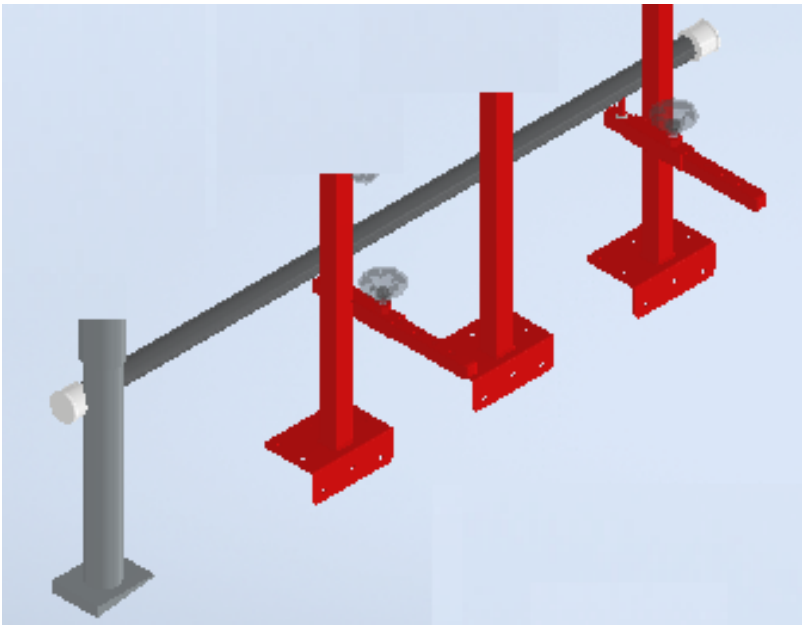
Figura 18: Guia central fabricada em MDF.



4.3.3.2 Conjunto guias inferiores

O conjunto de guias inferiores (Figura 19) possibilita a regulagem lateral (transversal) para guia inferior com regulagem de 31,5 cm a 55,5 cm (mesma faixa das guias superiores), possibilitando apoio duplo no exercício de marcha superior mãos e inferior pernas.

Figura 19: Perspectiva isométrica do conjunto guias inferiores.



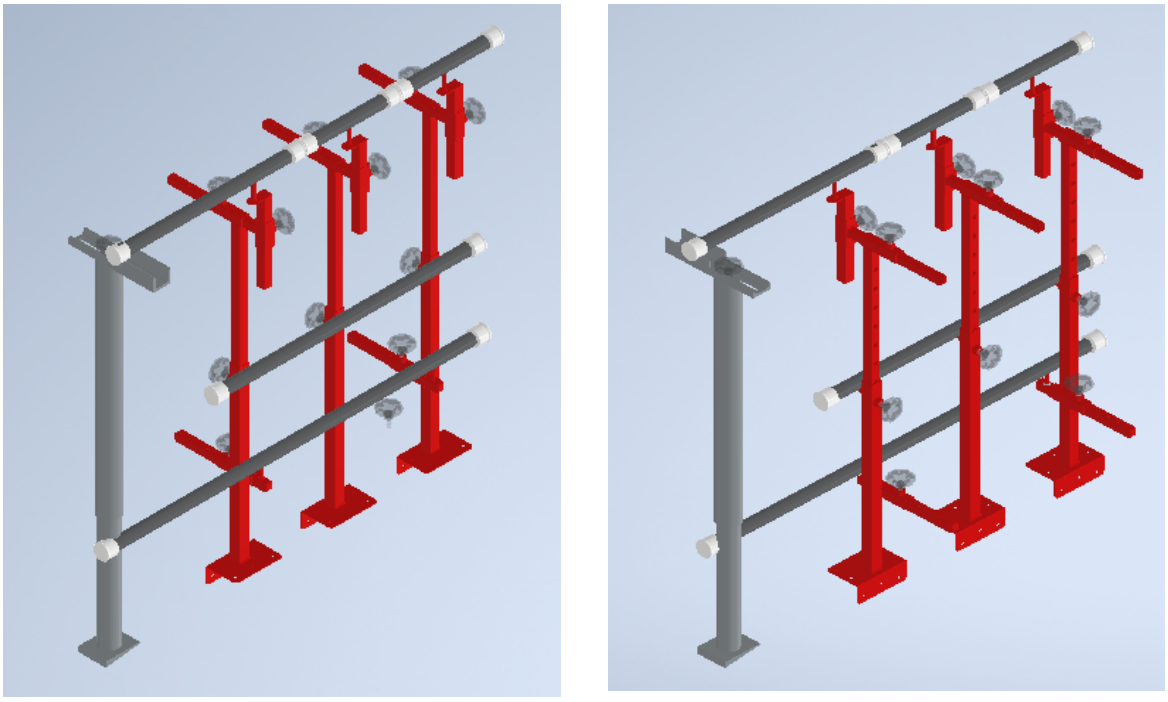
O conjunto das guias inferiores é composto por uma barra e um suporte ajustável de regulagem lateral ou transversal que está fixado a torre de sustentação

por meio de manípulos de regulagem. Ao todo são 2 conjuntos que trabalham um de cada lado da barra, fabricadas em aço ao carbono. As guias inferiores têm um comprimento de 1120 mm e um diâmetro de 35 mm.

4.3.3.3 Torres de sustentação

Foram modeladas seis torres de sustentação (Figura 20) que trabalham em pares direita e esquerda com regulagem de altura independentes a serem utilizadas na função barras paralelas, escada ou rampa.

Figura 20: Torres de sustentação para regulagem de altura. a) três pares do lado esquerdo. b) três pares do lado direito.



a) b)

Fabricadas em aço ao carbono com perfil quadrado e fixação com 8 parafusos por barra garantindo a segurança do dispositivo. A regulagem de altura é 65 cm a 121 cm.

4.3.3.4 Barras de regulagem transversais

Seis barras de perfil quadrado trabalhando com regulagem transversais de 31,5cm a 55,5 cm com variações de 3 em 3 cm (mesma das guias inferiores) possibilitando apoio duplo no exercício de marcha superior mãos e inferior pernas.

Figura 21: Barra de regulagem transversal.

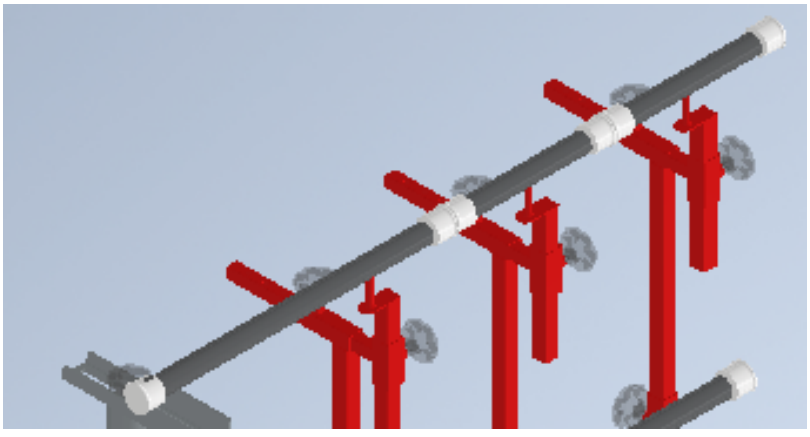


Fabricadas em aço ao carbono com fixação com manípulos de resinas e rosca de aço. O aço foi utilizado nesta parte da estrutura, pois precisa suportar o esforço principal do equipamento juntamente com a torre de sustentação.

4.3.3.5 Barras de apoio

Seis barras de apoio (corrimão) independentes, ou seja, permite a regulagem do corrimão de apoio em pares para utilização na função barras paralelas, escada ou rampa. Perfil cilíndrico com 50 mm de diâmetro em aço carbono, fixação com parafusos e rosca de aço (Figura 22).

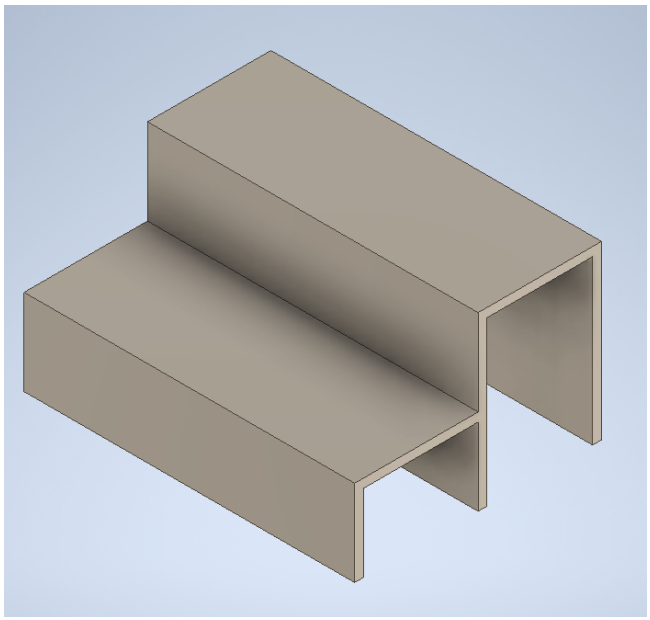
Figura 22: Barras de apoio.



4.3.3.6 Módulo escada

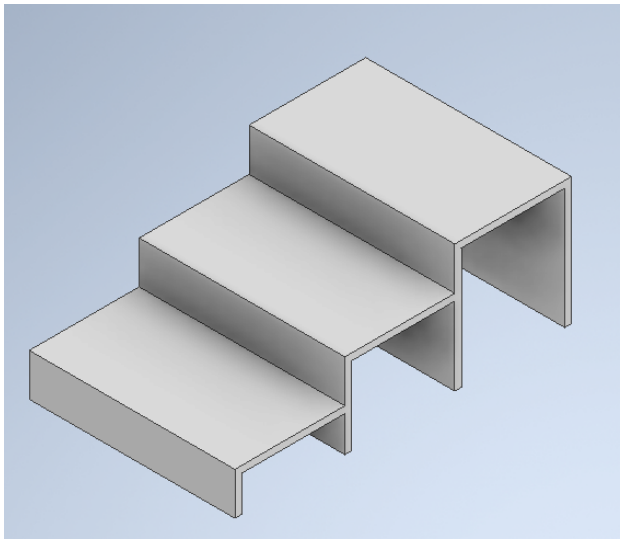
Esse módulo é utilizado para a função com obstáculos escada. Fabricado em madeira (MDF) são dois modelos um para criança com três degraus e outro para adultos 2 degraus nas dimensões de 57 cm de largura e altura de 17 cm do degrau, conforme norma ABNT NBR 9077 para adultos (Figura 23).

Figura 23: Módulo escada para adultos.



Já para crianças as dimensões são 57 cm de largura por 11 cm de altura por degrau (Figura 24).

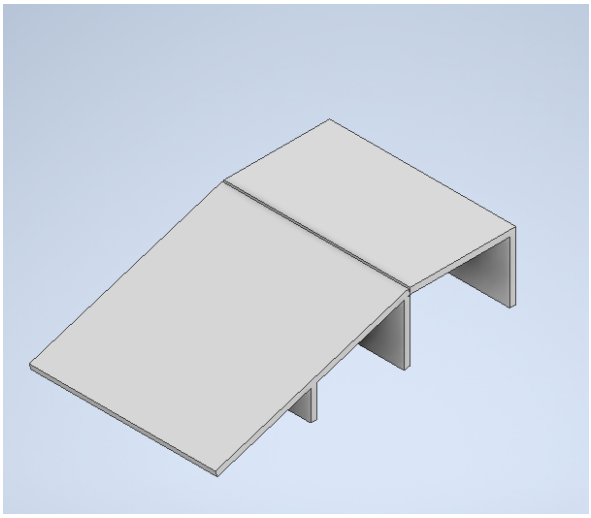
Figura 24: Módulo escada para crianças.



4.3.3.7 Módulo rampa

O módulo rampa (Figura 25) 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 madeira (MDF), permitindo rápida montagem de um exercício para outro. Com 91 cm de comprimento, largura de 57 cm e altura de 1,5 cm.

Figura 25: Módulo rampa fabricado em MDF.



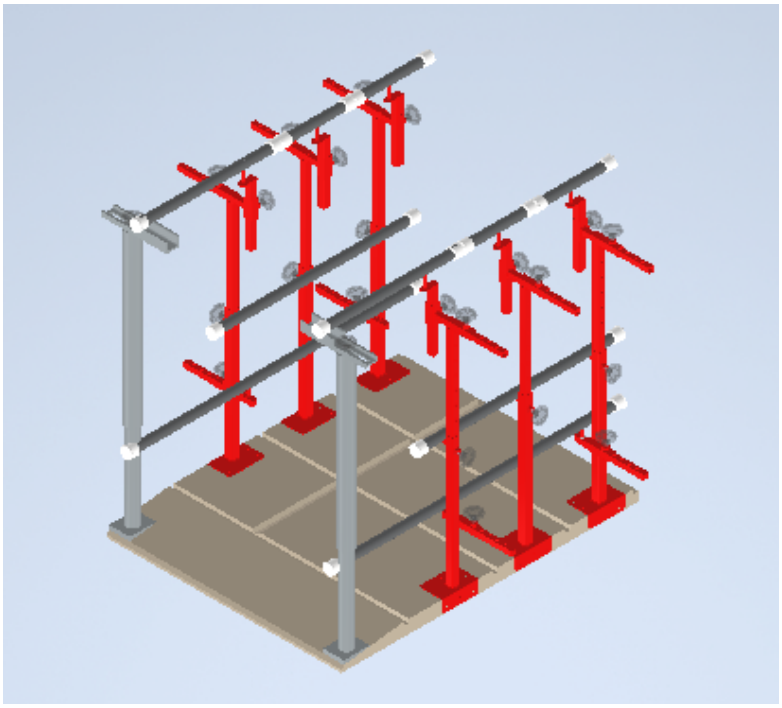
4.3.4 Visão geral do dispositivo modular multifuncional

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. 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 ao carbono.

Especificações técnicas:

- 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.

Figura 26: Dispositivo modular multifuncional (demonstração de um módulo).



A proposta e adquirir dois módulos formando o dispositivo modular multifuncional, como é apresentado nas figuras 27 a 32.

Figura 27: Dispositivo modular multifuncional (perspectiva com dois módulos).

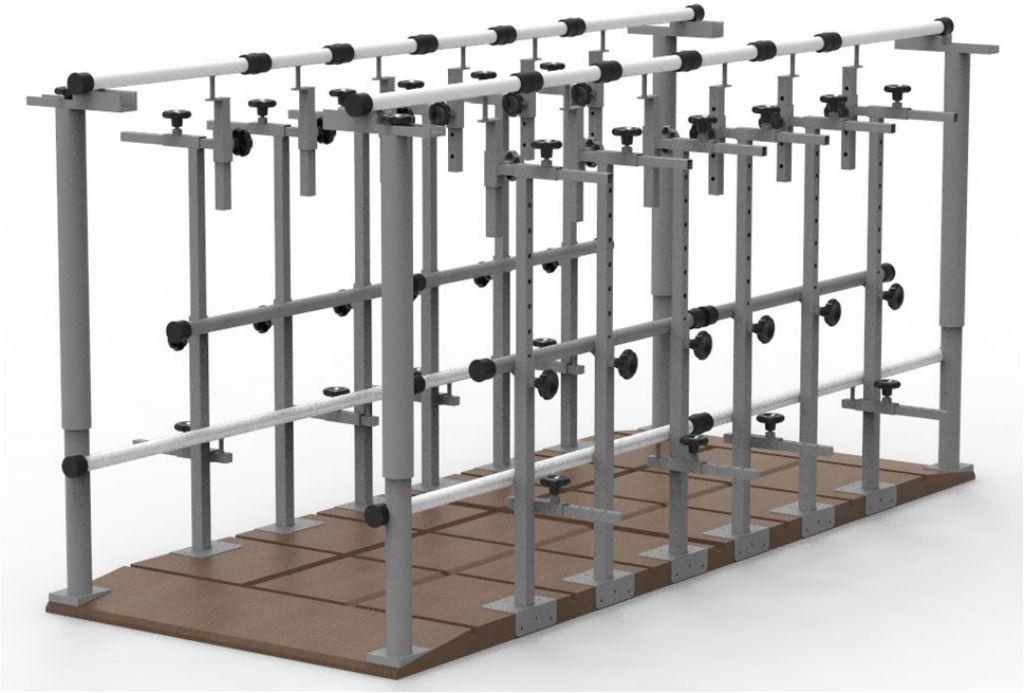


Figura 28: Dispositivo modular multifuncional (vista superior).

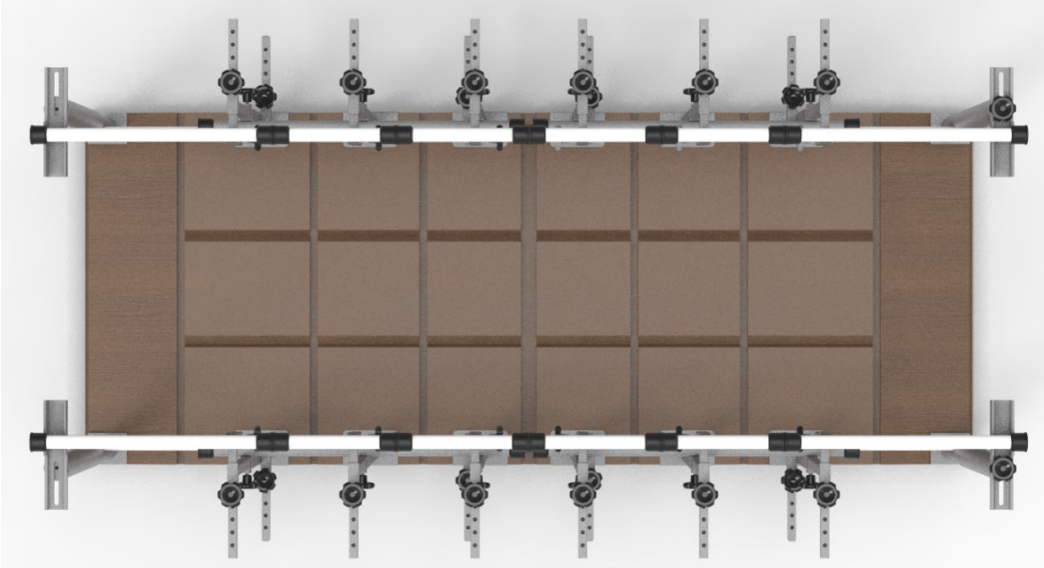


Figura 29: Dispositivo modular multifuncional (vista lateral direita).

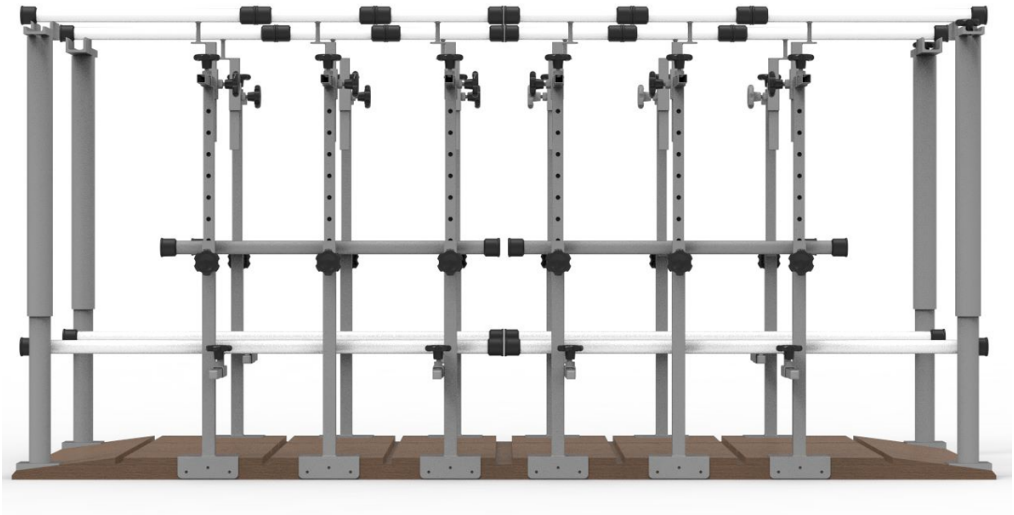


Figura 30: Dispositivo modular multifuncional (vista frontal).

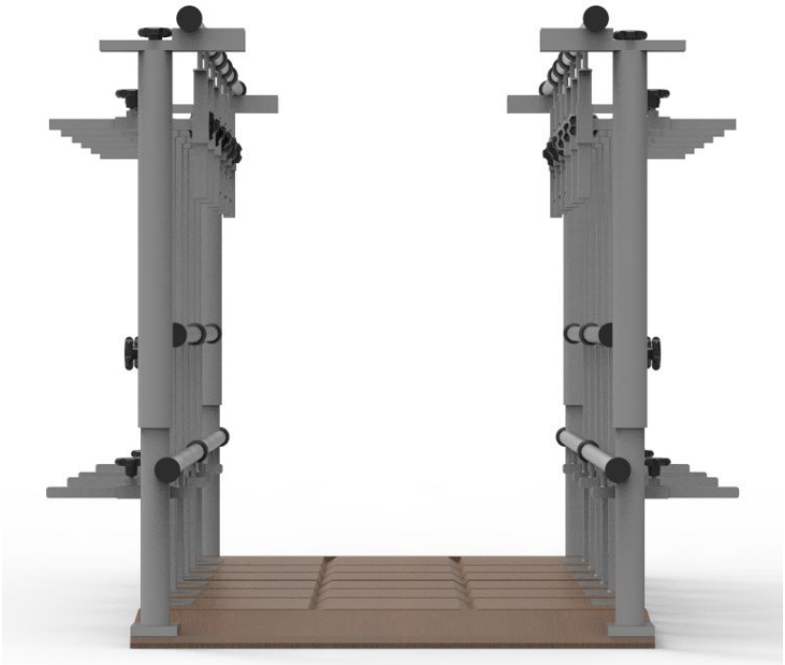


Figura 31: Dispositivo modular multifuncional – configurado para exercício de marcha com correção da posição dos pés (guia central).

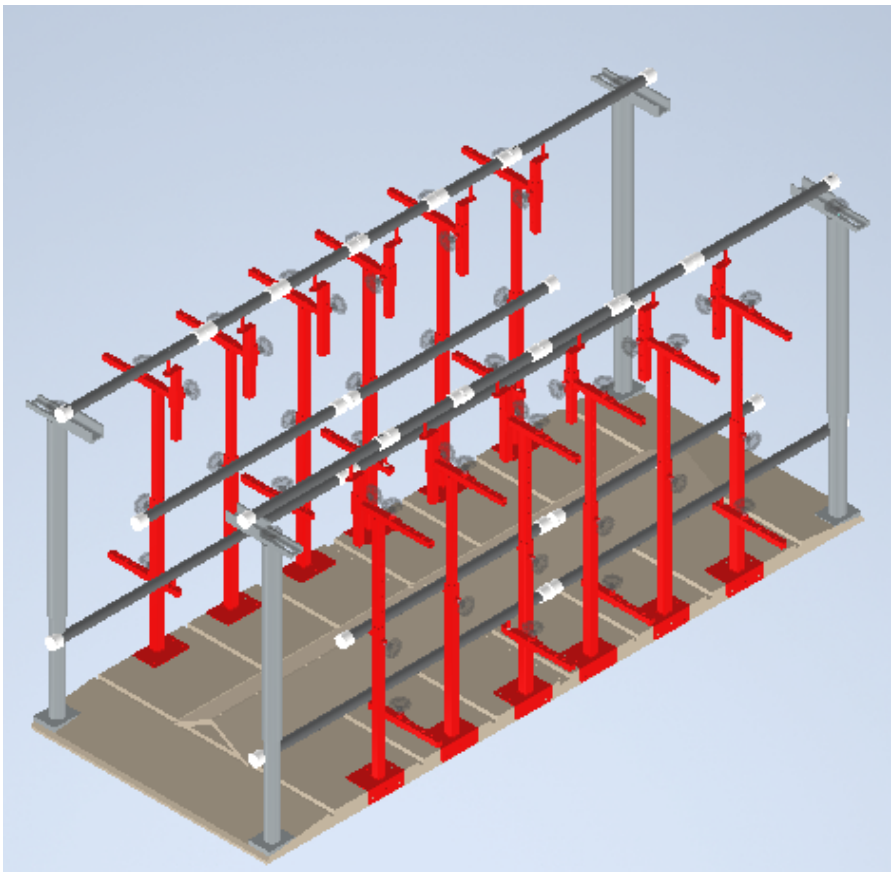
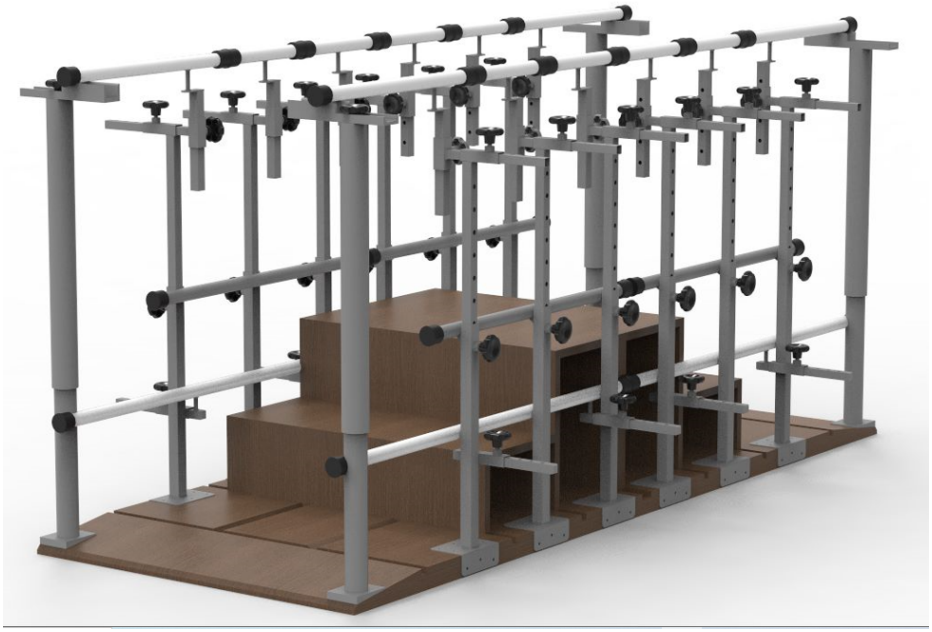
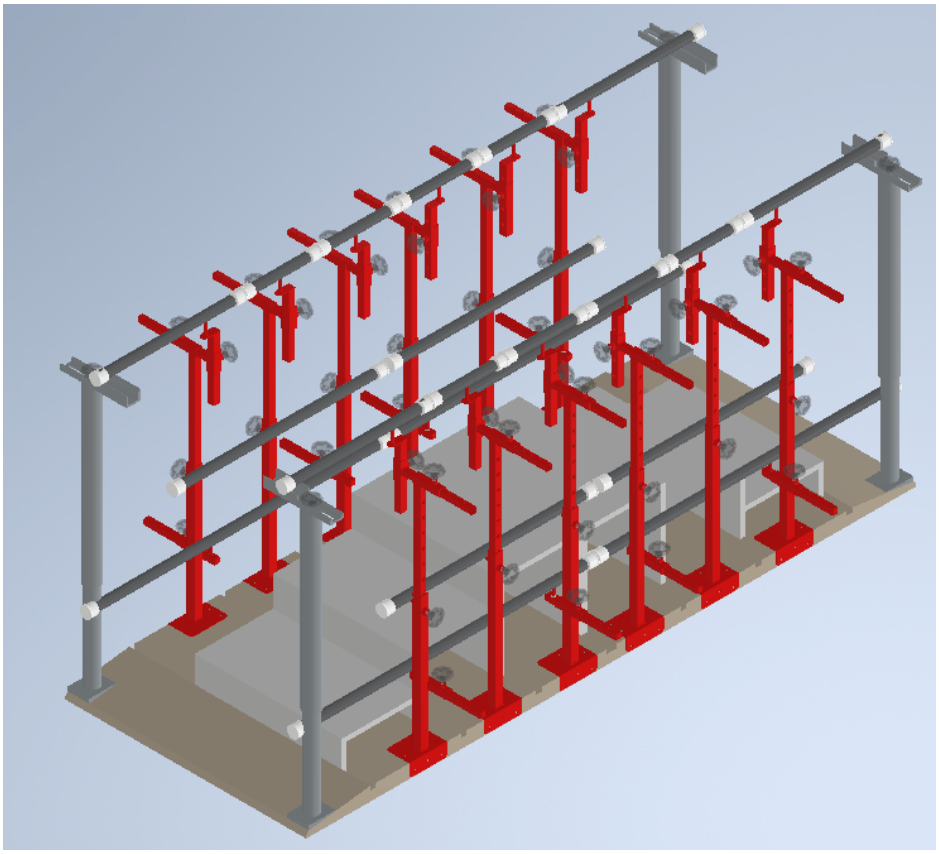


Figura 32: Dispositivo modular multifuncional (perspectiva com degraus para adultos).



Na figura 33, o dispositivo está configurado para treinamento de reabilitação em marcha, reforço muscular e equilíbrio com escada para crianças.

Figura 33: Dispositivo modular multifuncional – configurado para exercício de marcha, reforço muscular e equilíbrio com escada para crianças.



Na figura 34 e 35, o dispositivo está configurado para treinamento de reabilitação em marcha, reforço muscular e equilíbrio com rampa para crianças ou adultos.

Figura 34: Dispositivo modular multifuncional - configurado para exercício de marcha, reforço muscular e equilíbrio com rampa para adultos ou crianças (visão lateral).

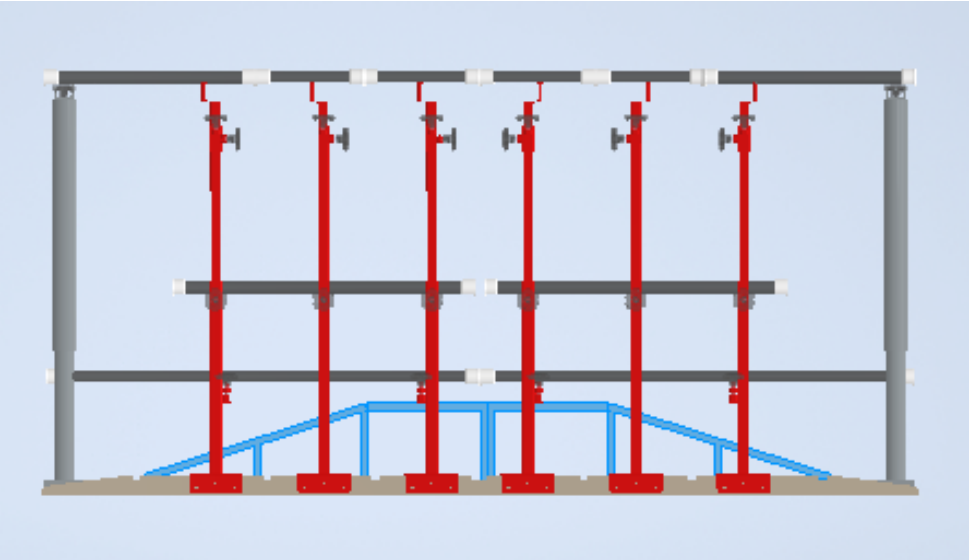
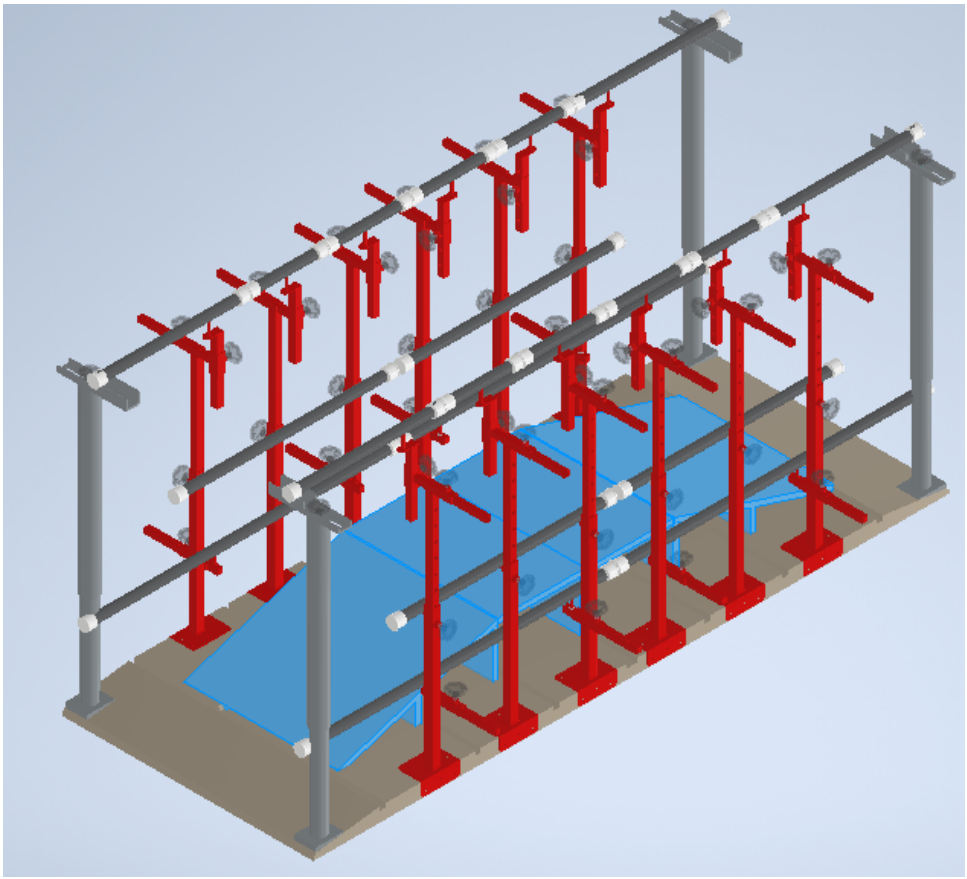


Figura 35: Dispositivo modular multifuncional - configurado para exercício de marcha, reforço muscular e equilíbrio com rampa para adultos ou crianças (visão em perspectiva).



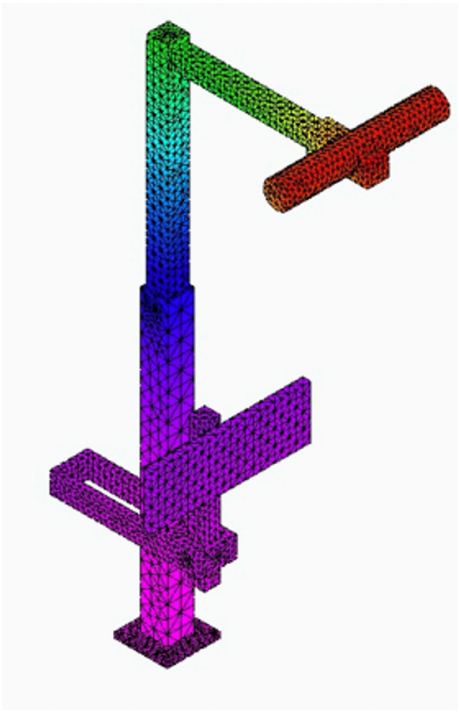
4.4 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Após a modelagem de todas as peças que compõem o dispositivo, proposto nesse projeto, foi realizada a Análise de Elementos Finitos (FEA).

A Análise de Elementos Finitos (FEA) é a modelagem de produtos e sistemas em um ambiente virtual. Ou seja, seu objetivo é localizar e solucionar problemas existentes que podem ser estruturais ou de desempenho (ALVES FILHO, 2013).

Um modelo de elementos finitos (FE) abrange um sistema de pontos chamado nós, que dão forma ao Projeto. Conectado a esses nós estão os próprios elementos finitos que formam a malha de elementos finitos. Estes nós contêm o material e as propriedades estruturais do modelo, definindo assim, a forma como irão reagir a determinadas condições, sendo possível aplicar vários tipos de carga ao modelo (FE) como força, movimento, deslocamento, velocidade, temperatura, aceleração, pressão e gravidade. Podendo ser analisadas, dentre outras, a estática linear, e não linear, modos normais, resposta dinâmica, flambagem, transferência de calor tendo como resultados típicos de deslocamento, velocidades, acelerações, força resultantes, tensões e deformações (ALVES FILHO, 2013).

Figura 36: Nós que formam o objeto conectado aos elementos finitos (malha).



O FEA pode ser utilizado tanto para um produto novo ou aperfeiçoamento de um produto já existente, sendo possível:

- Prever e melhorar o desempenho e a confiabilidade do produto.
- Reduzir a prototipagem e testes físicos.
- Reduzir o tempo de lançamento de novos produtos.
- Avaliar diferentes projetos e materiais.
- Otimizar os projetos para reduzir o uso de material.

4.5 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.

5 RESULTADOS

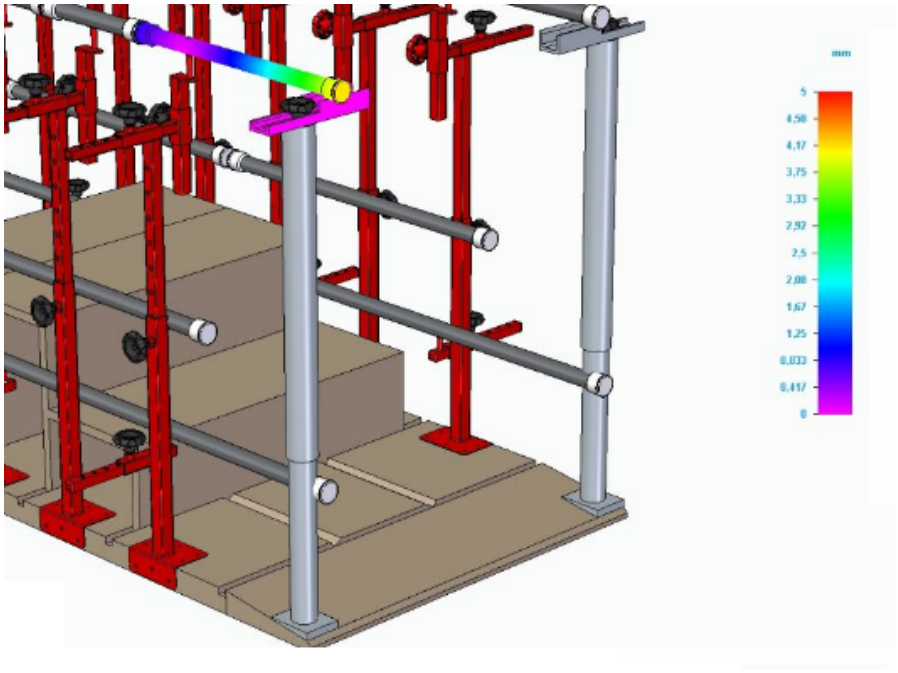
5.1 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Análise dos dados de elementos finitos no modelo 3D foram aplicados nos elementos de maior esforço durante sua utilização torre de sustentação, barras de regulagem transversais e barras de apoio já montados simulando sua utilização. A carga escolhida foi a mesma dos diversos fabricantes que especificam peso máximo de 130kgf, ou seja, 65 kgf em cada lado da barra paralela.

5.1.1 Condição máxima de esforço -Deformação elástica

Torre (Figura 37) na altura máxima com guia transversal no avanço mínimo, maior condição de esforço pela alavanca gerada.

Figura 37: Teste para deformação (elástica).



Deformação elástica:

Neste teste de elementos finitos, a Barra estava na altura máxima e guia transversal na regulagem mínima. Esse é maior esforço devido à alavanca gerada pela guia transversal em relação ao ponto de apoio.

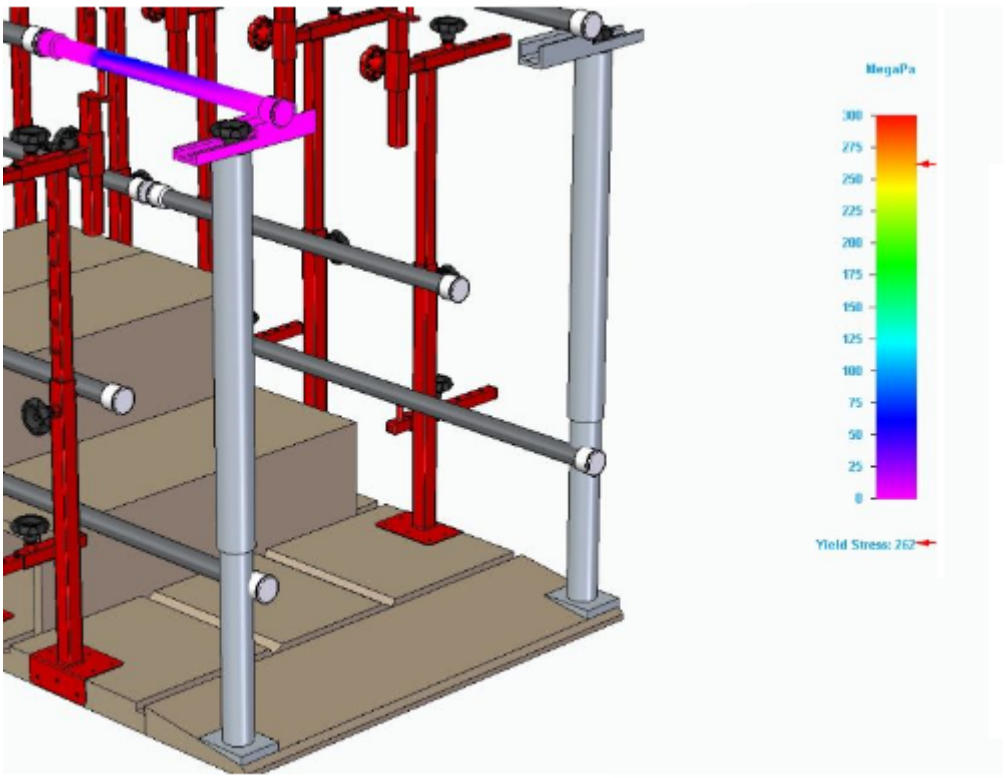
As cores representam a simulação da deformação de uma carga de 65kgf aplicada na Barra de apoio. A escala de cores acompanhada do valor da deformação

em mm, onde na deformação 0 mm, está na cor rosa e a deformação 5,0 mm representado pela cor vermelho. Observa-se uma deformação elástica máxima de 5 mm concentrada na Barra de apoio (cor vermelho) e analisando as cores, chega à análise de deformação em mm de toda a estrutura. O resultado apresentado se encontra satisfatório com o material empregado (aço ao carbono), garantido a segurança do paciente.

5.1.2 Condição máxima de esforço estresse (ruptura).

Na mesma posição e mesma carga foi analisado o teste de estresse, ou seja, a ruptura do material as cores agora estão associadas aos valores a carga de ruptura do material em (MPA) (Figura 38).

Figura 38: Teste de estresse da torre (ruptura).



Analisando os resultados o ponto de maior estresse 90MPA (cor azul) representando um resultado satisfatório, pois a carga de ruptura do material está em 262 MPA.

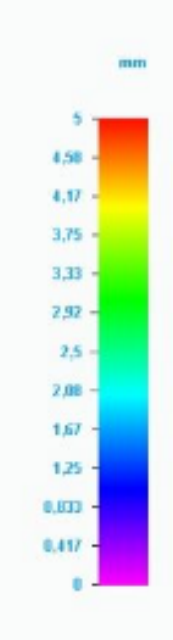
5.1.3 Resultados

Na condição máxima de esforço de simulação de utilização pelo paciente temos os seguintes resultados.

Com carga aplicada de 65Kgf, simulando o equipamento com uma carga máxima de 130kgf mesma capacidade máxima de todas as Barras Paralelas encontradas no mercado.

A Figura 39 apresenta escala de deformação plástica em mm associado às cores. Exemplo na deformação 0 mm a cor é rosa e assim por diante, até a deformação máxima na cor vermelho.

Figura 39: Escala de deformação elástica em mm.

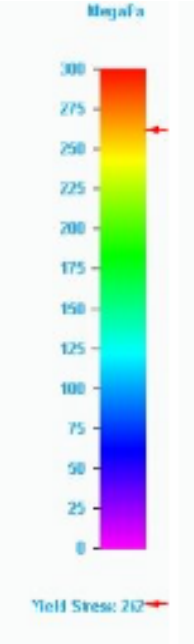


O teste apresentou excelente resultados com uma deformação plástica de 5,0 mm, na condição máxima de curso da guia, chegando à conclusão que em condição de uso 5,0 mm de deformação, não interfere na prática do paciente bem como garante a segurança do mesmo.

No resultado de estresse da Barra da carga aplicada apresentou um bom resultado visto que o ponto de maior tensão ficou chegou a 90 MPA, onde a carga máxima para estresse ruptura do aço ao carbono é de 262 MPA.

A escala mostra a escala de estresse em MPA juntamente com as cores correspondentes o ponto de ruptura do material é de 262 MPA (Figura 40).

Figura 40: Escala de estresse MPA.



5.2 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

5.2.1 Base

Base do dispositivo em MDF (Figura 41), com canais transversais para encaixe do acessório de degrau, rampa e canais longitudinais para encaixe do acessório de guia para os pés.

Figura 41: Base do dispositivo fabricada em MDF.



5.2.2 Guia Central

Guia central fabricada em MDF para correção ou guia para os pés durante a reabilitação de marcha (Figura 42).

Figura 42: Guia central fabricada em MDF.



5.2.3 Conjunto guias inferiores

Conjunto guias inferiores para regulagem lateral (transversal) com regulagem (Figura 43).

Figura 43: Conjunto guias inferiores.



5.2.4 Torres de sustentação

Um módulo da barra paralela é composto por seis torres de sustentação (Figura 44).

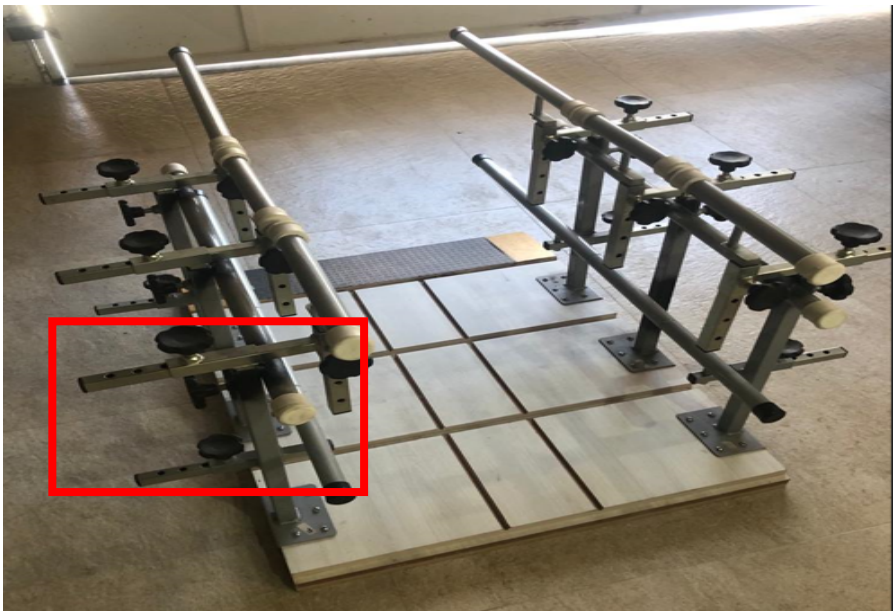
Figura 44: Torres de sustentação em aço carbono.



5.2.5 Barras de regulagem transversais

Para apoio duplo no exercício de marcha foram fabricadas seis barras de perfil quadrado que trabalham com regulagem transversais (Figura 45).

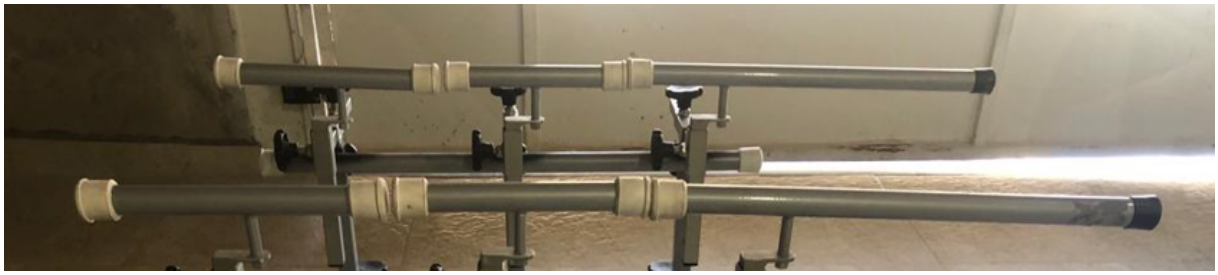
Figura 45: Barras de regulagem transversal.



5.2.6 Barras de apoio

Para permitir a regulagem do corrimão de apoio foram fabricadas seis Barras de apoio independentes (Figura 46).

Figura 46: Barras de apoio (corrimão).



5.2.7 Módulo escada

Foram fabricados dois módulos escada em MDF, um com dimensões para adultos (Figura 47a) e outro com dimensões para crianças (Figura 47b).

Figura 47: Módulo escada. a) para adultos. b) para crianças.



a)



b)

5.2.8 Módulo rampa

O módulo rampa (Figura 48) foi fabricado também em MDF, permitindo o ajuste de inclinação.

Figura 48: Módulo rampa fabricado em MDF.

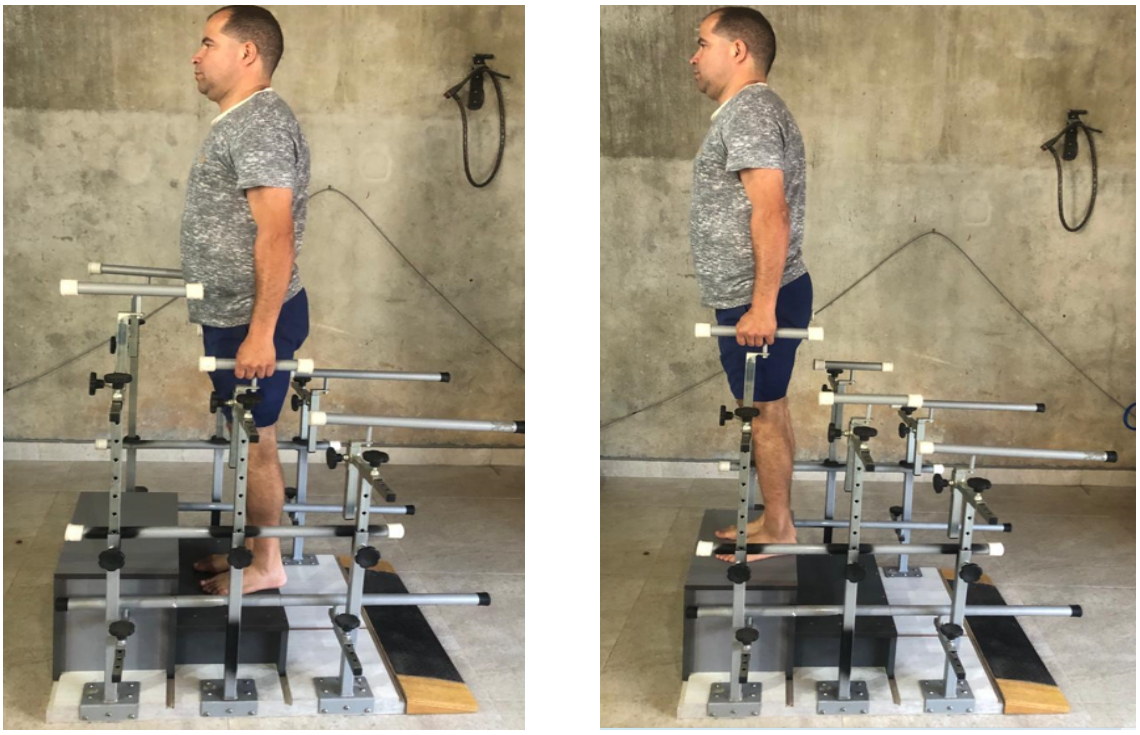


5.3 MÓDULOS MONTADOS

Para mostrar o dispositivo montado com os diferentes módulos, o próprio pesquisador realizou alguns testes, simulando o funcionamento. Lembrando que para demonstrar o funcionamento só foi construído um módulo da barra paralela. Para a prática será necessário a construção de mais um módulo.

Na Figura 49, o pesquisador utilizou o dispositivo na configuração adulto em conjunto com o módulo escada.

Figura 49: Módulo escada na configuração adulto sendo utilizado pelo pesquisador.



Na Figura 50, o pesquisador efetuou o teste do dispositivo em conjunto com o módulo rampa.

Figura 50: Módulo rampa sendo utilizado pelo pesquisador.



6 DISCUSSÃO

Analisando os resultados da estrutura do projeto proposta comparando as existentes no mercado chegamos os seguintes resultados:

Na função macha simples a proposta do projeto já sai com um diferencial, pois ela atende adultos e crianças, dos diversos modelos disponíveis no mercado somente duas fazem a mesma aplicação.

Já na função com obstáculos a proposta se destaca sendo única, pois com a proposta se ser modular permitindo a inclusão de escada para crianças, escada para adultos, e rampa atendendo todas as aplicações existentes no mercado.

Para 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 da 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 a variedades de treinamento.

7 CONCLUSÃO

Não foi possível fazer a comparação dos resultados obtidos com as Barras já existentes, pelo não fornecimento dos dados pelos fabricantes. Contudo, chegou à conclusão de que os testes foram satisfatórios, pois atendem a segurança do paciente há eficiência no equipamento com níveis mínimos de deformação e bom dimensionamento quanto as tensões de estresse.

Demais testes precisam ser feitos após a produção do protótipo com a simulação em pacientes para melhor análise da eficiência do equipamento. Até o presente momento, o dispositivo atende a que está sendo proposto.

8 TRABALHOS FUTUROS

A prioridade inicial seria a construção de mais um módulo, pois foi projetada para trabalhar sempre com dois módulos. E posteriormente a realização de testes com voluntários.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos Finitos**: A Base da Tecnologia CAE. 6. ed. São Paulo: Érica, 2013. E-book. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536519708/pageid/0. Acesso em: 28 maio 2018.

BREUNIG, Garcez Gabriela; MEDEIROS, José Paulo; STRASSBURGER, Simone Zeni. Apresentação de materiais de PVC para reabilitação pediátrica. In: Salão do Conhecimento, 27. Seminário de Iniciação Científica, 24. Jornada de Pesquisa, 20. Jornada de Extensão, 9. Seminário de Inovação e Tecnologia, 2019. **Salão do Conhecimento UNIJUÍ**: Ed. UNIJUÍ, 2019. p.1-5. Disponível em: https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/11995. Acesso em: 16 abr 2023.

CARCI. **Barra paralela simples em aço inox 2 metros**. [2010]. Disponível em: https://loja.carci.net/tratamento/mecanoterapia/1075. Acesso em: 10 fev. 2022a.

CARCI. **Barra paralela dupla em aço pintado 3 metros**. [2011]. Disponível em: https://loja.carci.net/tratamento/mecanoterapia/tablados/1060. Acesso em: 20 fev. 2022b.

CRUZ, Daniel Marinho Cezar, ZANONA, Aristela de Freitas. **Reabilitação Pós-AVC: Terapia ocupacional e Interdisciplinaridade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Medbook, 2023.

EL-BASATINY, Heba M. Youssr; ABDEL-AZIEM, Amr Almaz. Effect of backward walking training on postural balance in children with hemiparetic cerebral palsy: a randomized controlled study. **Clinical rehabilitation**, v. 29, n. 5, p. 457-467, 2015.

FALOPPA, Flávio; ALBERTONI, Walter Manna. **Guia de Ortopedia e Traumatologia**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2008.

FRAGALA-PINKHAM, MA; DUMAS, HM; BARLOW, CA; PASTERNAK, A. Um Programa de Fisioterapia Aquática em um Hospital de Reabilitação Pediátrica: Uma Série de Casos. **Fisioterapia Pediátrica**, v. 21, n. 1, p. 68–78, 2009.

GALLAHUE, D. L. Educação Física Desenvolvimentista. **Revista Cinergis**, v. 1, n. 1, jan.-jun. 2000.

GALLAHUE, D. L.; OZMUN, J. C. **Compreendendo o desenvolvimento motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos**. 3. ed. São Paulo: Phorte, 2005.

GALLAHUE, David L.; OZMUN, John C.; ARAÚJO, Maria Aparecida da S. Pereira. **Compreendendo o desenvolvimento motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos**. 7. ed. São Paulo: Editora Phorte, 2013.

HAYWOOD, Kathleen M.; GETCHELL, Nancy. **Desenvolvimento motor ao longo da vida**. Porto Alegre: Artmed, 2016.

HAMED, Nashwa Sayed; ABD-ELWAHAB, Manal Salah. Pedometer-based gait training in children with spastic hemiparetic cerebral palsy: a randomized controlled study. **Clinical rehabilitation**, v. 25, n. 2, p. 157-165, 2011.

HORNER, R. Don. Establishing use of crutches by a mentally retarded spina bifida child. **Journal of Applied Behavior Analysis**, v. 4, n. 3, p. 183-189, 1971.

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.

JMSHOSPITALAR. **Mobiliário hospitalar**. [2017]. Disponível em: https://www.jmshospitalar.com/en/produtos/detalhe/ramp_673/. Acesso em: 14 mar 2022.

ARKUS. **Barra paralela para reabilitação**. [2010]. Disponível em: https://www.arktus.com.br/barra-paralela-classic-2-5m-arktus-p-00600C. Acesso em: 16 mar 2022.

MEDICALEXPO. **Manual técnico da barra paralela de reabilitação com base**. [2013]. Disponível em: https://www.medicalexpo.com/pt/prod/chinesport/product-68032-556383.html. Acesso em: 10 mar 2022.

MOTA, R.S.; BITENCOURT, J.S.; CONCEIÇÃO, T.M.A.; CARDOSO, F.B.; SILVA, I.L.; BERESFORD, H. Avaliação do efeito do exercício aeróbico na marcha de indivíduos hemiparéticos, 2011. **Revista Ciência e Movimento**, v. 19, n. 2, p. 45-51, 2011.

NOGUEIRA, Kellysson; MEJIA, Dayana Priscila Maia. **Intervenção Fisioterapêutica na Prevenção da Síndrome do Imobilismo nas Fraturas Traumáticas Diafisárias da Tíbia em Crianças de 5 a 10 Ano**. 2008. Monografia (Pós Graduação-em Ortopedia e Traumatologia com Ênfase em Terapia Manual) – Faculdade Ávila, 2008.

ORTOTECSA. **Manual técnico da barra paralelas de reabilitação**. [2012].Disponível em: https://mundodependencia.com/paralelas-con-monorail-arnes-de-suspension-separador-guia/. Acesso em: 12 mar 2022.

PERRY, Jacquelin. **Análise de marcha**. Volume 3: Sistemas de Análise de Marcha. 1. ed. São Paulo: Manole, 2005.

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.

QUARK. **Manual técnico da barra paralela Quark sem tablado**. [2012] Disponível em: https://quarkmedical.com.br/quark2302/index.php?route=product/product&product_id=166&tag=Barra. Acesso em: 14 fev. 2022.

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.

REHABTECHNOLOG. **Manual técnico da barra paralela de caminhadas elétricas com ajuste de altura**. [2012] Disponível em: https://www.rehabtechnology.com.au/product/healthtec-electric-parallel-walking-bars-electric-height-adjustable/. Acesso em: 13 mar 2022.

RICKLIN, Sandra; MEYER-HEIM, Andreas; VAN HEDEL, Hubertus JA. Dual-task training of children with neuromotor disorders during robot-assisted gait therapy: prerequisites of patients and influence on leg muscle activity. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2018.

SHENGKANG. **Barra paralelas de reabilitação SK-123 para correção da posição dos pés**. Disponível em: https://portuguese.alibaba.com/product-detail/hot-sale-treatment-platform-parallel-bars-1600286593325.html. Acesso em: 10 mar. 2022.

FERNANDES, José Heitor Machado. **Semiologia Ortopédica para Médico Assistente e Perito Médico**. Disponível em: www.ufrgs.br/semiologiaortopedica. Acesso em: 10 set. 2022.

VISINTIN, Martha; BARBEAU, H. The effects of parallel bars, body weight support and speed on the modulation of the locomotor pattern of spastic paretic gait. A preliminary communication. **Spinal Cord**, v. 32, n. 8, p. 540-553, 1994.

ZUGE, Richard Wagner, MANFFRA, Elisangela Ferretti, Efeitos de uma intervenção cinesioterapêutica e eletroterapêutica na cinemática da marcha de indivíduos hemiparéticos. **Revista Fisioterapia do Movimento**, Curitiba, v. 22, n. 4, p. 547-556, out./dez. 2009.