

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE UM LEITO ORTOSTÁTICO DE TUBO DE PVC

 <https://doi.org/10.56238/arev7n2-129>

Data de submissão: 11/01/2025

Data de publicação: 11/02/2025

Caio Ramos de Menezes

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)
Universidade Federal do Ceará
E-mail: caiomenezes470@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8179-6164>
LATTEs: <http://lattes.cnpq.br/8863935294712421>

Francisco Ilson da Silva Júnior

Doutoramento em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Ceará
E-mail: ilson@ufc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4951-7900>
LATTEs: <http://lattes.cnpq.br/6263866997597331>

Luiz Soares Júnior

Doutoramento em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Ceará
E-mail: lsj@ufc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1555-049X>
LATTEs: <http://lattes.cnpq.br/1286134211013896>

Rômulo do Nascimento Rodrigues

Doutoramento em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Ceará
E-mail: rrodrigues@ufc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3962-5492>
LATTEs: <http://lattes.cnpq.br/9614082861655025>

Vanessa Vieira Gonçalves

Doutoramento em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Ceará
E-mail: vanessavg@ufc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7355-2979>
LATTEs: <http://lattes.cnpq.br/0873556978515803>

RESUMO

A Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, com caráter interdisciplinar, que conecta produtos e recursos que motivam promover a atividade e a participação das pessoas com deficiência, visando sua autonomia e qualidade de vida. A cama ortostática é um dispositivo que visa garantir uma postura alinhada e confortável ao paciente. O ortostatismo consiste em mudar a posição horizontal do paciente para posições angulares de 0° a 90°. São necessários sete dias de repouso na cama para que a força muscular diminua em 30%, com uma perda adicional de 20% de força restante a cada semana. Por

isso, com o uso do leito ortostático, as informações são enviadas para o sistema nervoso, onde o corpo fica alinhado biomecanicamente, alongando e fortalecendo grupos musculares, evitando deformidades nos membros inferiores e proporcionando funcionalidade para os membros superiores. O presente artigo baseia-se na modelagem, dimensionamento e simulação de um novo protótipo de leito ortostático baseado em modelos existentes, mas com alterações essenciais de projeto, além de realizar análises cinemáticas em mecanismos de içamento e realizar simulações mecânicas por elementos de viga na estrutura. A pesquisa foi elaborada de forma ordenada por meio da discussão dos principais aspectos que devem ser considerados no projeto, principalmente para terapeutas ocupacionais e profissionais que atuam diretamente com tecnologia assistiva. Os resultados da simulação indicam que a estrutura modelada atinge os objetivos de projeto e resiste aos esforços da carga solicitada, resultado de um dispositivo alternativo com menor custo em relação ao mercado, fácil montagem e manutenção.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva. Ortostatismo. Tubo de PVC.

1 INTRODUÇÃO

O sistema músculo-esquelético é projetado para se manter em movimento. Leva apenas sete dias de repouso na cama para que a força muscular diminua em 30%, com uma perda adicional de 20% da força restante a cada semana. O repouso prolongado no leito resulta em alterações nas fibras musculares. O ortostatismo, como recurso terapêutico, pode ser adotado passiva ou ativamente para estimulação motora, melhora da função cardiopulmonar e estado de alerta. O uso da prancha ortostática é indicado para readequar os pacientes à posição ereta quando eles não conseguem manter essa postura com segurança sozinhos ou mesmo com assistência considerável (SIBINELLI, 2012).

Com o objetivo de melhorar a qualidade de vida do paciente, bem como remediar, ainda que parcialmente, distúrbios motores e implicações decorrentes da paralisia cerebral, propõe-se o uso de recursos de tecnologia assistiva para auxiliar nessas questões. A seleção e o uso de dispositivos como órteses suropodais, andadores, cadeiras de rodas, coletes de suspensão e pranchas ortostáticas devem oferecer uma solução eficaz para atender às demandas do usuário, promovendo assim maior autonomia (CURY, et al., 2013).

Com o objetivo de compreender a necessidade de dispositivos de Tecnologia Assistiva no ambiente hospitalar, foi realizada uma reunião com uma terapeuta ocupacional, profissional de um hospital público localizado em Fortaleza, Ceará. Então, foi repassado que eles tinham uma grande necessidade de leitos ortostáticos para diferentes perfis de pacientes.

Alguns fatores que contribuem para a subutilização dos produtos de Tecnologias Assistivas no Brasil são: falta de capacitação profissional especializada, falta de conhecimento dos profissionais sobre as Tecnologias Assistivas que são dispensadas no Sistema Único de Saúde (SUS), dificuldade de acesso às tecnologias no SUS, limitação da lista de órteses no SUS e preferência dos profissionais por produtos importados (MELLO, 2006).

Para a realização de projetos na área de tecnologia assistiva, conhecer projetos mecânicos, mecanismos, ergonomia e outras áreas do conhecimento é muito importante. Essas áreas são pouco abordadas no curso de Terapia Ocupacional, o que gera um déficit de conhecimento na elaboração de alguns projetos, e dificuldades de concepção por parte desses profissionais. No entanto, muitas vezes a necessidade de atender a demanda do paciente resulta na construção de alguns dispositivos, mas sem validação e conhecimento mecânico adequado.

O alto custo dos dispositivos de Tecnologia Assistiva no mercado é uma barreira significativa para milhões de pessoas com deficiência de baixa renda. O SUS concede apenas equipamentos já estabelecidos em tabelas, que não abrangem todas as patologias e não refletem a real necessidade dos

indivíduos com comprometimento funcional e são desconhecidos pelos profissionais que atuam no sistema, além de outros profissionais e usuários (MENDONÇA, 2012).

Assim, é de extrema importância projetar dispositivos de baixo custo para atender o maior número possível de pacientes, além de validar equipamentos seguros e confortáveis para atender às necessidades e demandas do atual cenário hospitalar brasileiro. Atualmente, uma cama ortostática para pacientes adultos tem um custo vinculado de R\$ 9.500,00. Portanto, este trabalho tem como objetivo desenvolver e validar um projeto alternativo e de baixo custo para um leito ortostático, equipamento amplamente utilizado na área de Tecnologia Assistiva, através de estudos sobre a análise do mecanismo de elevação do leito e simulações de elementos finitos da estrutura proposta para o leito ortostático.

2 METODOLOGIA

2.1 MODELAGEM DE PROTÓTIPOS

Para a modelagem do protótipo, foi escolhido o software SolidWorks®, por ser um software mais intuitivo e por já ter sido utilizado em outros projetos. O SolidWorks® possui uma interface intuitiva em comparação com outras ferramentas CAE, o núcleo matemático do software conta com contribuições de diversas empresas ou grupos, dentre as contribuições os recursos MEF do Software de Projeto CAD/CAM/CAE que integra outras ferramentas, tem como motor de simulação o software utilizado para o Método dos Elementos Finitos.

Para a realização de uma modelagem inicial, foram escolhidos tubos rígidos de PVC com bitola de 2,1/2", com as especificações apresentadas na tabela 1, foram escolhidas as conexões em "T", 3 conexões de saída a 90° e 4 conexões de saída de acordo com a forma como atende às especificações do tubo.

Tabela 1: Especificações Tubo de PVC de 2,1 / 2 "

| Especificações | |
|-----------------------------------|-------|
| Referências polegadas | 2.1/2 |
| Diâmetro externo médio (mm) | 75 |
| Espessura mínima da parede (mm) | 4,2 |
| Peso médio aproximadamente (kg/m) | 1,370 |

Fonte: Catálogo Tiger (2013).

Para a modelagem, foi feita uma geometria semelhante à dos leitos ortostáticos já existentes no mercado, de modo que atenda às necessidades de um paciente de aproximadamente 1,75 metros de altura e com massa aproximada de 75 kg. Para tanto, foi modelado um suporte, totalmente montado com os tubos de PVC e as conexões para os tubos, para fixação do colchão do paciente, de modo que fique o mais acessível e confortável possível.

2.1.1 Suporte para colchão

O suporte do colchão consiste na estrutura na qual o colchão do paciente será acomodado, para que fique bem fixado e confortável, além disso é composto por tubos sem conexões fechadas para que o eixo de rotação seja concêntrico e passando pelo suporte, para que a cama possa realizar a rotação necessária. A Tabela 2 mostra a quantidade de tubo de PVC rígido de 2,1/2" necessária para ser usada para fazer a estrutura.

Tabela 2: Quantidade necessária de tubo de PVC rígido de 2,1/2" (suporte de colchão)

| Material | Comprimento (mm) | Quantidade | Comprimento total por seção (m) |
|--------------------------------------|------------------|------------|---------------------------------|
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 150 | 8 | 1,2 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 200 | 22 | 4,4 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 400 | 4 | 1,6 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 550 | 6 | 3,3 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 750 | 2 | 1,5 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 800 | 2 | 1,6 |
| Comprimento total do tubo (m) | | | 13,6 |

Fonte: Autores.

No entanto, apenas o tubo de PVC não é suficiente para projetar a estrutura, é necessário adotar acessórios de PVC para interligar toda a estrutura, além de madeira para apoiar o colchão e os pés do paciente, alças para apoiar o paciente junto com colchão e fechos. A Tabela 3 mostra os materiais e quantidades a serem utilizados.

Tabela 3: Quantidade necessária de acessórios e outros componentes (suporte de colchão)

| Material | Quantidade | Comprimento (mm) |
|--|------------|------------------|
| Conexão de PVC de 3 saídas em T 2.1/2" | 14 | - |
| Conexão de PVC de 3 saídas em 90° 2,1/2" | 8 | - |
| Conexão cruzada de PVC 2,1/2" | 6 | - |
| Madeira | 1 | 800x600x10 |
| Madeira | 1 | 2200x800x10 |
| Correias de maca | 2 | - |
| Parafuso M12 | 20 | - |
| Porca M12 | 20 | - |

Fonte: Autores.

Portanto, uma vez listados os materiais necessários, as peças foram modeladas e a estrutura foi montada utilizando o software SolidWorks®, como já mencionado. Na figura 1, observa-se a visão isométrica da estrutura renderizada.

Figura 1: Modelo de suporte de colchão renderizado - Vista isométrica.



Fonte: Autores.

2.1.2 Base

A base consiste na estrutura sobre a qual ficará o suporte do colchão, além disso, é responsável pela movimentação da cama, como um todo com a presença de rodízios. A Tabela 4 mostra a quantidade de tubo de PVC rígido de 2,1/2" necessária para ser usada para fazer a estrutura.

Tabela 4: Quantidade necessária de tubo de PVC rígido de 2,1 / 2 "(base)

| Material | Comprimento (mm) | Quantidade | Comprimento total por seção (m) |
|--------------------------------------|------------------|------------|---------------------------------|
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 10 | 10 | 0,1 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 75 | 2 | 0,15 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 110 | 6 | 0,66 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 145 | 4 | 0,58 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 200 | 21 | 4,2 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 525 | 8 | 4,2 |
| Tubo de PVC 2.1 / 2 " | 1000 | 2 | 2,0 |
| Comprimento total do tubo (m) | | | 11,89 |

Fonte: Autores.

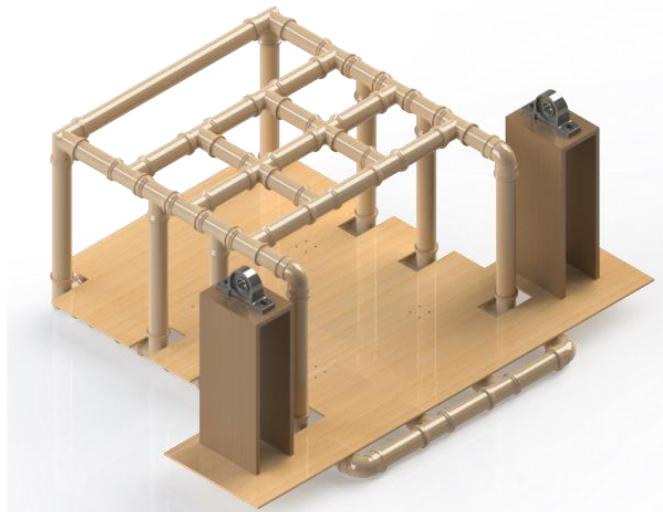
No entanto, apenas o tubo de PVC não é necessário para projetar a estrutura, é necessário adotar acessórios de PVC para interligar toda a estrutura, além de rolamentos para suportar o eixo de rotação do suporte do colchão, a madeira para suporte de rolamento e fixadores. A Tabela 5 mostra os materiais e quantidades a serem usados e a figura 2 mostra uma visão isométrica renderizada da base.

Tabela 5: Quantidade necessária de acessórios e outros componentes (Base)

| Material | Quantidade | Comprimento (mm) |
|--|------------|------------------|
| Conexão de PVC de 3 saídas em T 2.1/2" | 28 | - |
| Conexão de PVC de 3 saídas em 90° 2,1/2" | 4 | - |
| Conexão cruzada de PVC 2,1/2" | 4 | - |
| Conexão de PVC do joelho 2,1/2" | 3 | - |
| Madeira | 1 | 2100x1650x10 |
| Madeira | 4 | 670x300x10 |
| Madeira | 2 | 300x200x10 |
| Rodízio de 4" com trava | 4 | - |
| Parafuso M12 | 20 | - |
| Porca M12 | 20 | - |

Fonte: Autores.

Figura 2: Modelo base renderizado - Exibição isométrica

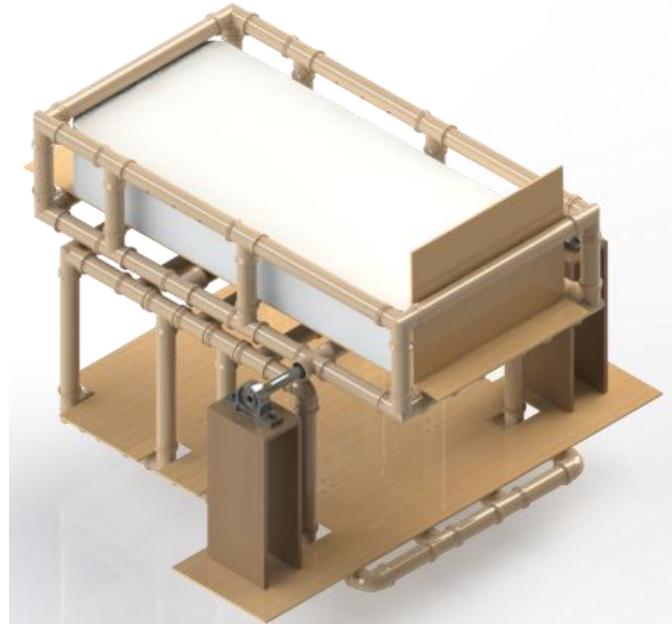


Fonte: Autores.

2.1.3 Assembleia Geral

A montagem geral consiste em unir o suporte do colchão à base e adicionar o eixo de rotação. O eixo de rotação é acoplado entre os rolamentos e sendo concêntrico e passando por tubos montados no suporte do colchão. Na figura 3, observa-se a visão isométrica da estrutura renderizada.

Figura 3: Modelo geral de montagem - Vista isométrica



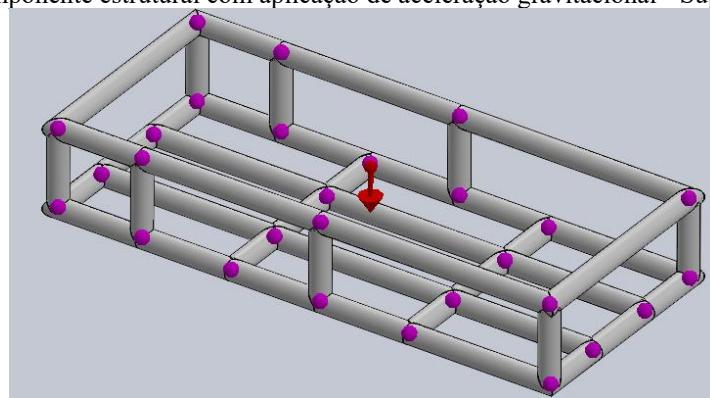
Fonte: Autores.

2.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO DAS SIMULAÇÕES

2.2.1 Suporte para colchão

Para realizar a simulação, a estrutura foi modelada utilizando a ferramenta componente estrutural no SolidWorks®, esta ferramenta permite ao usuário desenhar o perfil que desejar, e em seguida é feito o esboço 2D ou 3D da estrutura e basta clicar nas linhas do esboço que a estrutura se ajusta à geometria. Na Figura 4, a estrutura modelada pode ser vista, com os nós destacados por pontos roxos, e a seta vermelha representa a aceleração gravitacional. A simulação foi realizada utilizando elementos de viga, considerando que o suporte do colchão é uma estrutura reticulada, na qual os esforços foram analisados nas junções das estruturas.

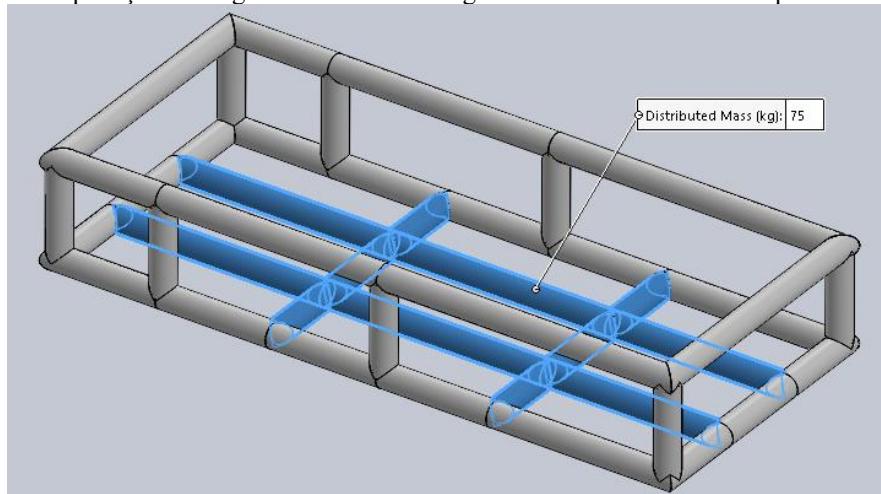
Figura 4: Componente estrutural com aplicação de aceleração gravitacional - Suporte de colchão



Fonte: Autores.

A Figura 5 mostra a distribuição de massa de 75 kg aplicada à estrutura, expressando pela massa do paciente. Os tubos marcados com a cor azul são os tubos que sofrerão os esforços, eles foram escolhidos porque suportam o colchão centralmente.

Figura 5: Aplicação da carga distribuída de 75 kg na estrutura reticulada – Suporte de colchão.

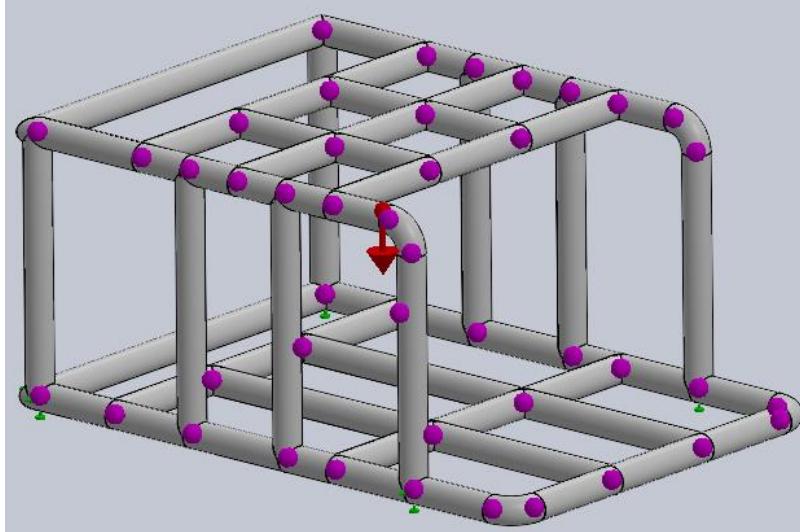


Fonte: Autores.

2.2.2 Base

Para realizar a simulação, foi modelada uma estrutura semelhante à utilizada no suporte do colchão, no software SolidWorks[©] através do componente estrutural. Na figura 6, pode-se ver a estrutura modelada, com os nós destacados por pontos roxos, sendo que a seta vermelha representa a aceleração gravitacional e os pontos verdes representam os pontos onde a estrutura está fixa.

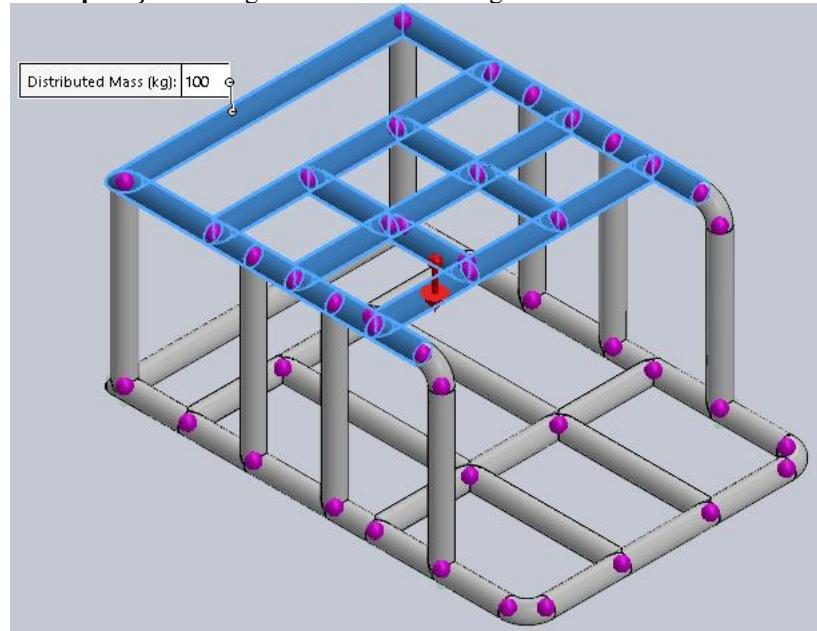
Figura 6: Componente estrutural com aplicação de aceleração gravitacional e elementos de fixação – Base.



Fonte: Autores.

A Figura 7 mostra a distribuição de massa de 100 kg aplicada à estrutura, representada pela soma da massa do paciente e da massa do suporte do colchão. Os tubos marcados com a cor azul são os tubos que sofrerão os esforços, foram escolhidos por fornecerem o suporte central do colchão com o paciente.

Figura 7: Aplicação da carga distribuída de 100 kg sobre a estrutura reticulada – Base.



Fonte: Autores.

2.2.3 Eixo de rotação

O eixo de rotação tem a funcionalidade de ser o eixo que o suporte do colchão irá girar, a fim de estabelecer a posição ortostática do paciente. Para isso, deve ser uma estrutura que suporte bem a carga aplicada e, além disso, é necessário adotar rolamentos de rolos para servir de suporte ao eixo e permitir a rotação. Portanto, foi adotado que o eixo será feito de tubo de aço SAE 1020. A Tabela 6 apresenta as propriedades mecânicas do tubo de aço SAE 1020.

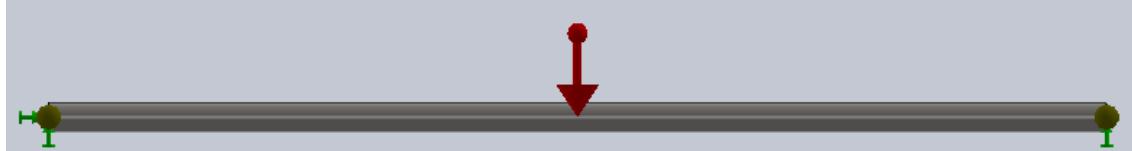
Tabela 6: Propriedades mecânicas do tubo de aço SAE 1020

| Propriedades mecânicas | Valor |
|------------------------|---------------------------------------|
| Densidade | 7,87 g/cm ³ |
| Módulo de elasticidade | 205 GPa |
| Limite de fluxo | 3,5x N/10 ⁸ m ² |
| Resistência à tração | 4,2x N/10 ⁸ m ² |
| Alongamento (%) | 15 % |
| Condutividade térmica | 51,9 W/mK |

Fonte: Catálogo Gerdau (2013).

Para realizar a simulação, foi modelada no software SolidWorks© uma estrutura semelhante à utilizada no suporte e base do colchão, através do componente estrutural. Na figura 8, pode-se ver a estrutura modelada, com os nós destacados por pontos amarelos, sendo que a seta vermelha representa a aceleração gravitacional e os pontos verdes representam os pontos onde a estrutura está fixada, neste caso, os rolamentos de rolos.

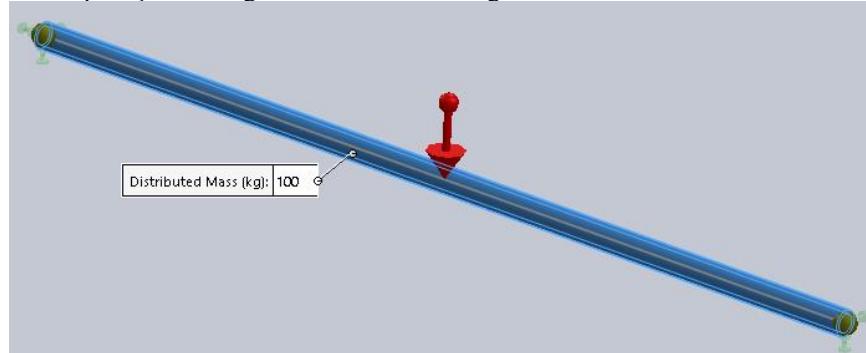
Figura 8: Componente estrutural com aplicação de elementos de aceleração gravitacional e fixação - Eixo de rotação.



Fonte: Autores.

A Figura 9 mostra a distribuição de massa de 100 kg aplicada à estrutura, representada pela soma da massa do paciente e da massa do suporte do colchão. A distribuição é aplicada ao longo de todo o comprimento do eixo, com os fixadores localizados nas extremidades.

Figura 9: Aplicação da carga distribuída de 100 kg na estrutura reticulada - Eixo de rotação



Fonte: Autores.

2.3 ADAPTAÇÕES DOS MECANISMOS DE ELEVAÇÃO

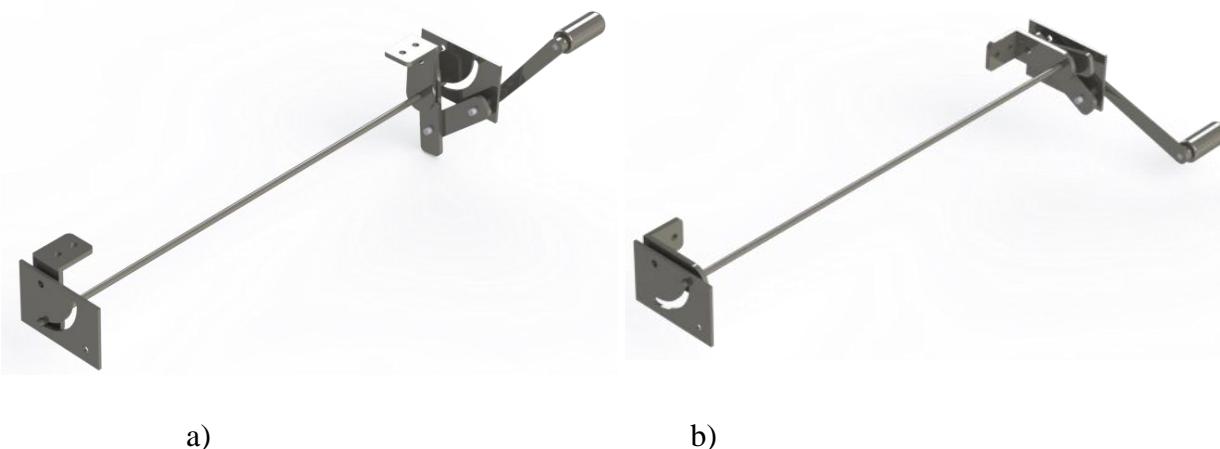
Para que a cama possa permanecer na posição ortostática, é necessário adotar um mecanismo para alterar o ângulo de 0° a 90°. Para que possa haver diversas possibilidades e adaptações para esse posicionamento.

2.3.1 Mecanismo de "tronco"

O mecanismo "porta-malas" tem esse nome, pois é uma adaptação de um mecanismo de abertura da tampa do porta-malas. O equipamento possui uma manivela para inserir o movimento de rotação do usuário, esse movimento é transmitido para as barras que se conectam a uma parte central que possui pinos deslizantes, que ficam restritos a uma peça com rasgo guiado. Para a modelagem do

mecanismo, foi utilizado o software SolidWorks®, já utilizado para modelagem e dimensionamento dos componentes estruturais do leito ortostático. A Figura 10 mostra o mecanismo

Figura 10: Montagem do mecanismo "tronco": a) Posição 0° b) Posição 90°



Fonte: Autores.

2.3.2 Atuador elétrico linear

Já o design da cama ortostática precisa atender pacientes que possuem 75 kg ou menos, além de considerar a massa do conjunto do suporte do colchão. Um atuador elétrico linear CZHAX que suporta uma carga de 6000 N foi selecionado, a fim de fornecer um fator de segurança igual a 6, considerando a massa do paciente mais a massa do suporte do colchão igual a 100 kg. A Tabela 7 mostra as principais características do atuador.

Tabela 7: Propriedades do atuador elétrico linear

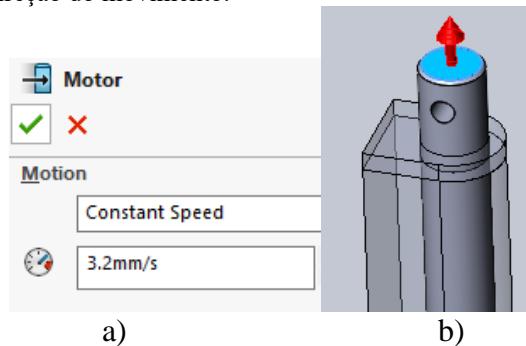
| Propriedades | Valor |
|----------------------------|-------------------|
| Carga máxima | 6000 N |
| Velocidade sem carga | 4,0 mm/s |
| Velocidade máxima de carga | 3,2 mm/s |
| Curso personalizado | 500 milímetros |
| Vida | 500 milhões de mm |
| Voltagem | 12 V |
| Corrente de carga máxima | 8,4 UMA |

Fonte: Catálogo CZHAX (2018)

Para realizar a análise do mecanismo, foi utilizado o complemento do software SolidWorks®, denominado Solidworks Motion, no qual é permitido realizar análises de movimento e reações em mecanismos. Para o estudo do atuador elétrico linear, foi imposto um motor linear com velocidade constante de 3,2 mm/s na face superior da haste, conforme mostrado na Tabela 7, sendo sua velocidade

máxima com carga. A Figura 11 mostra as especificações do motor utilizado na análise e sua região de aplicação.

Figura 11: Condições de contorno da análise de movimento - Atuador elétrico linear a) Adoção do motor elétrico b) Aplicação na face da haste com a direção do movimento.



Fonte: Autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

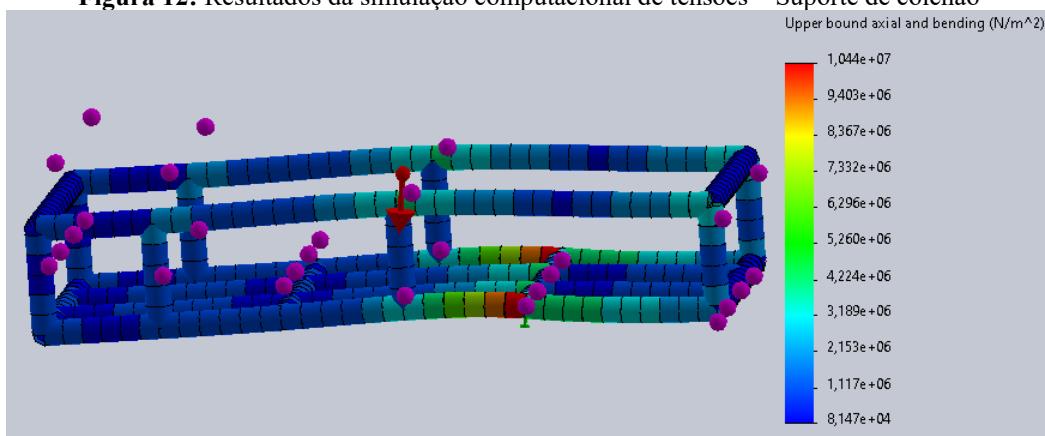
3.1 ANÁLISE DE SIMULAÇÕES

Para a análise das simulações, foram escolhidos dois aspectos, primeiramente a análise da tensão nas estruturas a fim de analisar os esforços existentes, e evitar a conformação plástica e a ruptura dos tubos de acordo com as cargas.

3.1.1 Suporte para colchão

Na figura 12, é exibido o resultado referente às tensões impostas ao componente, e vê-se que a tensão máxima ocorre no tubo que está próximo ao eixo de rotação com uma tensão máxima de $1,044 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.

Figura 12: Resultados da simulação computacional de tensões – Suporte de colchão



Fonte: Autores.

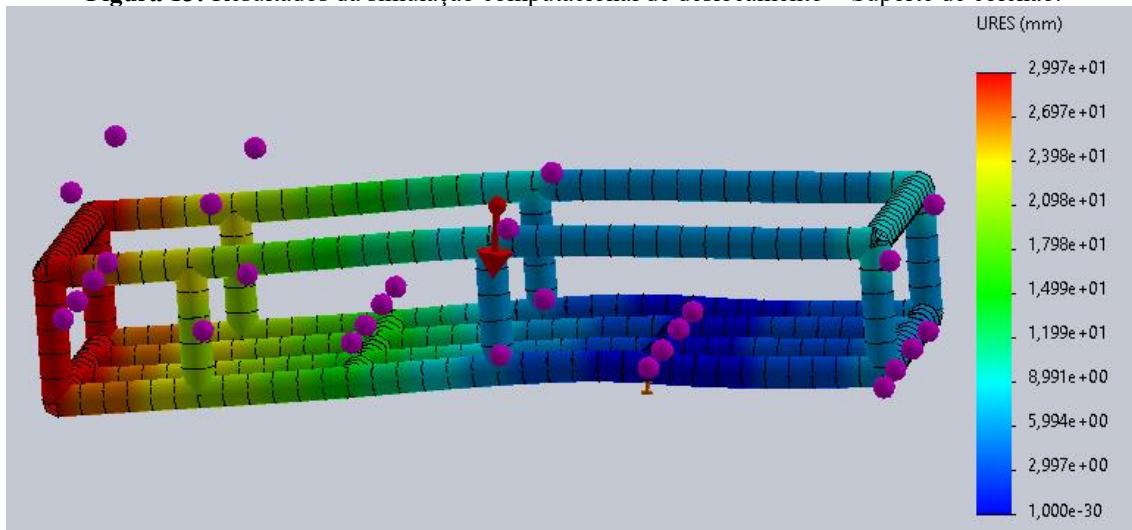
Portanto, realizando o cálculo do coeficiente de segurança de acordo com a equação 1, e adotando o valor da tensão de ruptura da tabela 2, sendo os dados instantâneos de resistência à tração a 20º C, e então, obtemos:

$$FS = \frac{\sigma_{rupture}}{\sigma_{admissible}} = \frac{5,099 \times 10^7}{1,044 \times 10^7} = 4,85 \quad (1)$$

Com um fator de segurança de 4,85, pode-se supor que o suporte do colchão é confiável para as condições de contorno impostas. Os pontos flutuantes em roxo remetem à escala 1:36 utilizada, representando o esforço sofrido.

A outra análise foi o deslocamento da estrutura conforme explicado anteriormente, na figura 13, pode-se observar que o deslocamento máximo foi de 30 mm, o que resulta em um valor elevado, nos tubos com uma cor mais avermelhada, mas esses tubos serão apoiados pela base, e consequentemente, resultarão em um deslocamento menor que o calculado. Os pontos flutuantes em roxo remetem à escala 1:36 utilizada, representando o esforço sofrido.

Figura 13: Resultados da simulação computacional de deslocamento – Suporte de colchão.

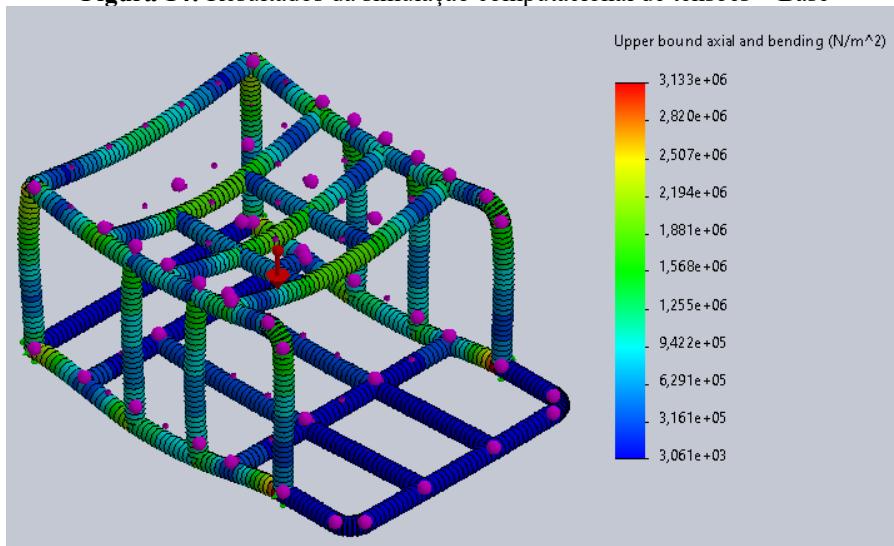


Fonte: Autores.

3.1.2 Base

Na figura 14, é exibido o resultado referente às tensões impostas ao componente, e vê-se que a tensão máxima ocorre no tubo que está próximo ao elemento de fixação na parte inferior do componente, com uma tensão máxima de $3,133 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

Figura 14: Resultados da simulação computacional de tensões – Base



Fonte: Autores.

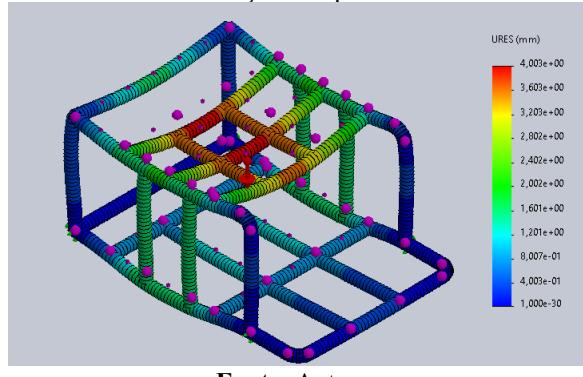
Portanto, realizando o cálculo do coeficiente de segurança de acordo com a equação 1, e adotando o valor da tensão de ruptura da tabela 2, sendo os dados instantâneos de resistência à tração a 20º C, temos:

$$FS = \frac{\sigma_{rupture}}{\sigma_{admissible}} = \frac{5,099 \times 10^7}{3,133 \times 10^6} = 16,27 \quad (1)$$

Com um fator de segurança de 16,27, pode-se supor que a base é confiável para as condições de contorno impostas.

A outra análise foi o deslocamento da estrutura, conforme explicado anteriormente, na figura 15, pode-se observar que o deslocamento máximo foi de 4 mm nos tubos que compõem o suporte central do suporte do colchão, o que resulta em um valor satisfatório. Na Figura 15, os tubos que sofrem maiores esforços são de cor mais avermelhada.

Figura 15: Resultados da simulação computacional de deslocamento – Base

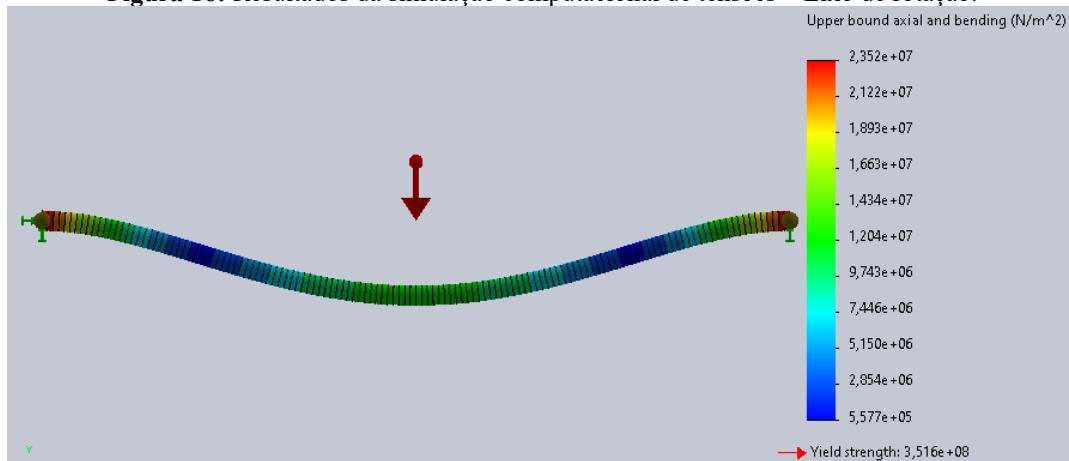


Fonte: Autores.

3.1.3 Eixo de rotação

A Figura 16 mostra o resultado referente às tensões impostas ao componente, e observa-se que a tensão máxima ocorre na região próxima ao elemento de fixação, no caso os rolamentos, com tensão máxima de $2,352 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.

Figura 16: Resultados da simulação computacional de tensões – Eixo de rotação.



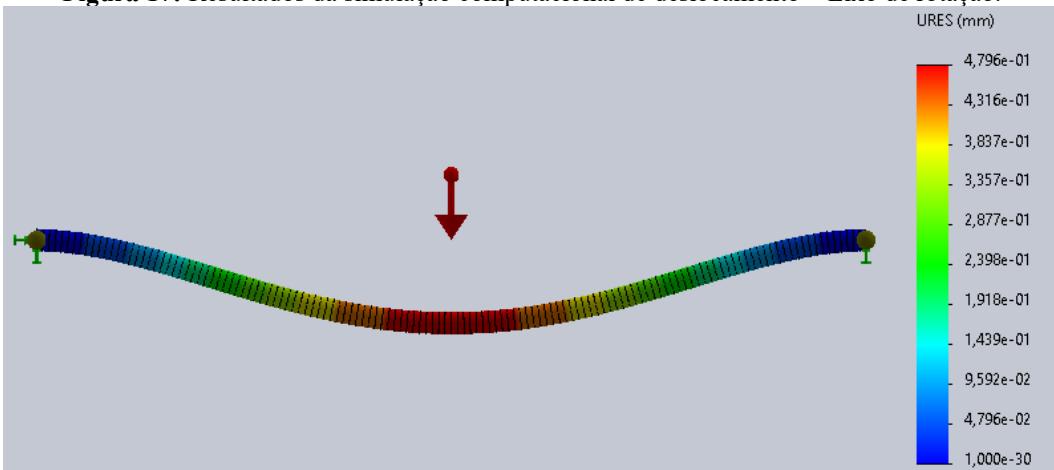
Fonte: Autores.

Portanto, realizando o cálculo do coeficiente de segurança de acordo com a equação 1, e adotando o valor da tensão de ruptura da tabela 6, sendo os dados de resistência à tração, e em seguida, obtemos:

$$FS = \frac{\sigma_{rupture}}{\sigma_{admissible}} = \frac{4,2 \times 10^8}{2,352 \times 10^7} = \mathbf{17,86} \quad (1)$$

Com um fator de segurança de 17,86, pode-se supor que o eixo de rotação é confiável para as condições de contorno impostas. A outra análise foi o deslocamento da estrutura, conforme explicado anteriormente, na figura 17, pode-se observar que o deslocamento máximo foi de 0,48 mm na região central do eixo, o que resulta em um valor satisfatório. Na figura a seguir, a região que resultou no maior deslocamento possui uma cor mais avermelhada.

Figura 17: Resultados da simulação computacional de deslocamento – Eixo de rotação.



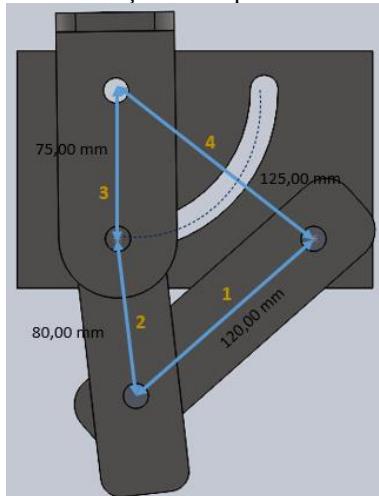
Fonte: Autores.

3.2 ANÁLISE DE MECANISMOS

3.2.1 Mecanismo de "tronco"

Para realizar a análise do mecanismo "tronco", foi feita uma simplificação, de modo que o mecanismo se assemelha a um mecanismo de 4 barras, em que uma barra é muito semelhante a uma meia-junta, mas tem seu movimento limitado devido a um rasgo guiado com um arco de raio de 75 mm, a fim de realizar o movimento de 0° a 90° da base superior do mecanismo. Na figura 18, pode-se observar inicialmente a identificação das barras e suas identificações, sem nenhum movimento inicial na alça. Vê-se que a barra 1 é aquela que recebe o movimento de rotação do esforço do usuário através da manivela. A barra 2 recebe o movimento de rotação da barra 1 e executa um movimento de rotação guiada, devido ao elo das barras 2 e 3 ter movimento limitado devido ao rasgo guiado.

Figura 18: Posição inicial com identificação e comprimentos das barras - mecanismo "Tronco".

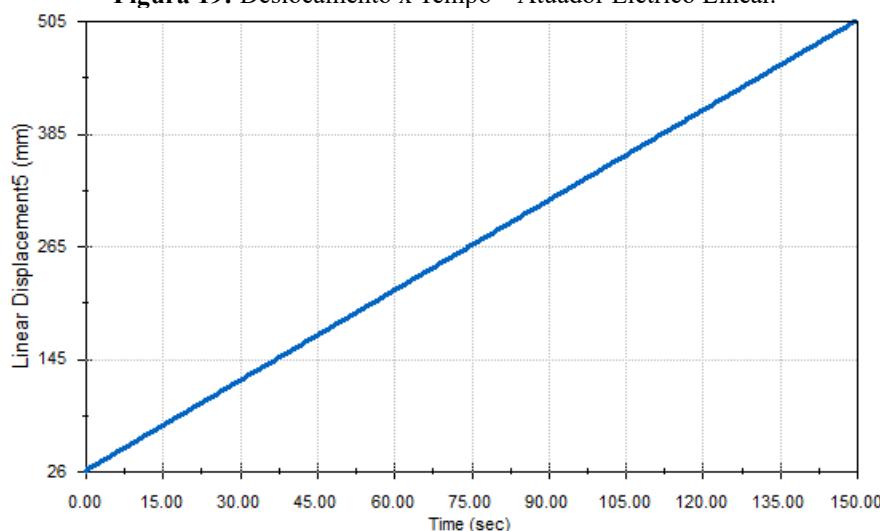


Fonte: Autores.

3.2.2 Atuador elétrico linear

Com a análise realizada, através da figura 19, pode-se notar que o atuador elétrico linear leva em torno de 2,5 minutos para atingir seu deslocamento máximo, devido à velocidade máxima de carga de 3,2 mm/s, permite uma velocidade linear baixa. Portanto, proporciona um movimento suave na rotação do leito ortostático, gerando maior conforto para o paciente. O motor elétrico que transmite movimento ao fuso tem velocidade constante, de modo que a velocidade não muda durante o curso da haste e, consequentemente, resulta em aceleração zero.

Figura 19: Deslocamento x Tempo – Atuador Elétrico Linear.



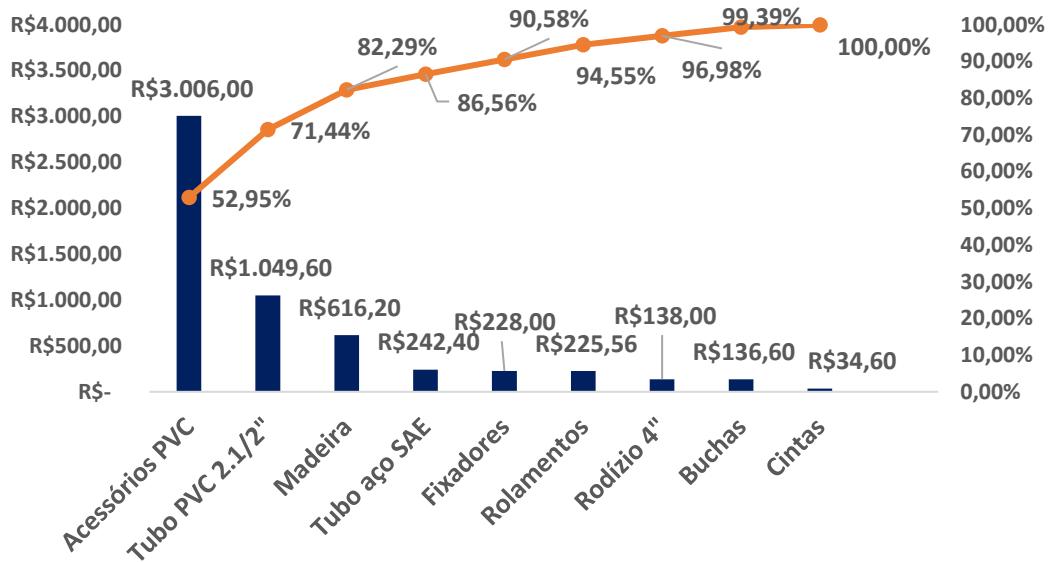
Fonte: Autores.

3.3 ANÁLISE DE CUSTOS

Todo projeto tem custos atrelados à sua concepção, um dos objetivos deste trabalho foi reduzir custos em relação a mão de obra e material, desenvolver um protótipo de maior acessibilidade aos pacientes que necessitam. Para isso, foi feita uma análise de custos por componente da estrutura principal da cama e dos mecanismos de elevação.

Foram realizadas pesquisas de preços em 3 lojas de construção localizadas em Fortaleza, Ceará, além da busca de materiais em lojas virtuais, portanto, os preços alocados são os menores preços encontrados no mercado atual. Alguns materiais não são vendidos por unidade, por exemplo, tubos de PVC de 2,1/2", são vendidos apenas em hastes de 6 metros.

Figura 20: Pareto – Custos por elementos da estrutura.



Fonte: Autores.

Portanto, de acordo com a tabela 8, o custo total associado à estrutura da cama ortostática inclui o valor do suporte do colchão, base e eixo de rotação, totalizando R\$ 5.676,96. Os mecanismos de elevação têm custos variados, e o de menor valor associado é o atuador elétrico linear com custo de R\$ 720,35. Então, somando esses dois valores, o projeto do leito ortostático tem um valor associado de aproximadamente R\$ 6.397,31. Como as camas ortostáticas para adultos disponíveis no mercado têm um investimento em torno de R\$ 9.500,00, o protótipo induz uma redução em torno de 32,65%, o que é um percentual bastante considerável para o projeto.

Tabela 8: Custo de cada componente

| Componente | Valor total (R\$) |
|-------------------------|-------------------|
| Suporte para colchão | 2217,90 |
| Base | 2854,50 |
| Eixo de rotação | 604,56 |
| Mecanismo de "tronco" | 1515,58 |
| Polias e correias | 909,54 |
| Atuador elétrico linear | 720,35 |

Fonte: Autores.

4 CONCLUSÕES

Pode-se observar que o leito ortostático é de fundamental importância na vida das pessoas que, por algum motivo, precisam ficar muito tempo no leito, uma vez que a posição ortostática retarda a atrofia dos músculos dos membros inferiores. Com isso, a ideia de sugerir um projeto protótipo do leito ortostático, visava reduzir o custo de aquisição e aumentar a acessibilidade do equipamento. Dito isto, a estrutura de PVC sugerida para a cama ortostática respondeu bem aos esforços impostos na

simulação estrutural, sendo o menor fator de segurança da estrutura o valor de 4,85 no suporte do colchão, o que é admissível para projetos hospitalares.

Os mecanismos de elevação têm o mesmo objetivo, que é realizar uma rotação de 1/4 de volta no leito ortostático, ou seja, deslocar-se do ângulo de 0º com o eixo horizontal e estabelecer a posição a 90º em relação ao eixo horizontal. De acordo com as análises, o atuador elétrico linear foi o mecanismo que melhor atendeu a diversos requisitos, principalmente em termos de custo de aquisição com valor aproximado de R\$720,35, consequentemente, sendo o mais barato dos mecanismos analisados. Além de ser o mais adequado para o projeto em termos de facilidade de montagem e manutenção, pois requer apenas uma fonte elétrica e duas fixações na estrutura, uma no suporte do colchão e outra na base, e não requer uma "camada" de proteção, como no caso das polias e correia, e não há necessidade de usinagem como no caso do mecanismo "tronco". Além disso, permite a movimentação suave da cama ortostática, a fim de promover maior conforto ao usuário.

Em termos de custos, o projeto protótipo com a estrutura de PVC impõe a adoção do atuador elétrico linear teve um custo associado de R\$ 6.397,31, o que representa uma redução de 32,65% considerando o preço médio de uma cama ortostática para adultos no mercado por R\$ 9.500,00. Um projeto voltado para o âmbito da tecnologia assistiva precisa de aprovação de um órgão regulador para que possa atuar no mercado, que no Brasil é a ANVISA. No final do dia, este projeto pretendia incentivar o estudo mecânico voltado para equipamentos nesta área.

Todo projeto está sujeito a melhorias e mudanças futuras para melhorar o desempenho e a eficiência, principalmente no âmbito do design de protótipos. Neste trabalho, há algumas sugestões de melhorias tanto na parte estrutural do leito ortostático, quanto nos mecanismos de elevação e no projeto do protótipo. A construção do protótipo é necessária para avaliar as características do projeto, além de permitir a execução de ensaios e avaliações para realizar modificações e melhorias, bem como ensaios destrutivos para validar fisicamente a resistência mecânica da geometria proposta. Além disso, permitindo novas alterações na geometria, com menor uso de acessórios, com o objetivo de reduzir o custo do material, como a troca do suporte do colchão por algum tipo de maca hospitalar acolchoada. Neste trabalho, a construção do protótipo não foi possível devido ao tempo limitado e à falta de recursos financeiros.

Uma segunda sugestão é a possibilidade de analisar outro mecanismo de elevação, mais acessível à estrutura do leito ortostático, com custo mais acessível e fácil manutenção, no qual muitas vezes não é necessária intervenção direta no mecanismo para manter a integridade. A terceira sugestão é realizar simulações com diferentes tipos de tubos de PVC, tanto modificando o material quanto os diâmetros utilizados, a fim de analisar o diâmetro mínimo que mantém a integridade do componente

estrutural, além de ser um método de redução do custo do próprio tubo, uma vez que tubos de menor diâmetro tendem a ser mais baratos e acessíveis. A quarta sugestão é utilizar outros métodos de simulação para as análises, como a simulação por elemento de casca em que se tem uma análise mais detalhada, permitindo um refinamento da malha e detalhes em concentradores de tensões da estrutura. A fim de gerar resultados mais confiáveis e permitir uma melhor mudança de geometria.

REFERÊNCIAS

- Sibinelli, M., et al. (2012). Efeito imediato do ortostatismo em pacientes internados na unidade de terapia intensiva de adultos. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 24*, 64-70.
- Cury, V. C. R., Figueiredo, P. R. P., & Mancini, M. C. (2013). Os ambientes ambientais e o status socioeconômico das famílias influenciam a mobilidade e o uso de dispositivos de mobilidade por crianças com paralisia cerebral. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 71*, 100-105.
- Mello, M. A. F. (1998). Tecnologia Assistiva. In Amatuzzi, M. M., & Greve, J. M. D. (Orgs.), **Medicina de Reabilitação Aplicada à Ortopedia e Traumatologia** (Vol. 1). São Paulo: Roca.
- Mendonça, K. N. N. (2012). Conhecimento e utilização de equipamentos de tecnologia assistiva pelos terapeutas ocupacionais do Distrito Federal.
- Meza, M. C. (2016). Concepção de um dispositivo fisioterápico: parapodium mecanizado.
- Norton, R. L. (2013). **Projeto de máquinas.** Bookman Editora.
- Alves Filho, A. (2018). **Elementos Finitos – A base da tecnologia CAE.** Saraiva Educação SA.