

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

IAGO SMANIO SAAD

Projeto de Adaptação de Cadeiras de Rodas para Pacientes GMFCS (*Gross Function Classification System*) nível III

Uberlândia, Minas Gerais
2024

IAGO SMANIO SAAD

Projeto de Adaptação de Cadeiras de Rodas para Pacientes GMFCS (*Gross Function Classification System*) nível III

Projeto de fim de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Luciano José Arantes

Uberlândia, Minas Gerais

2024

IAGO SMANIO SAAD

Projeto de Adaptação de Cadeiras de Rodas para Pacientes GMFCS (*Gross Function Classification System*) nível III

Projeto de fim de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Uberlândia, 29/11/2024

Banca Examinadora:

Luciano José Arantes – Doutor (UFU)

Henry Fong Hwang – Doutor (UFU)

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva – Doutor (UFU)

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo estímulo, carinho e compreensão, por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante todo o meu período escolar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo amor, incentivo e apoio incondicional que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Agradeço a todos: minha família, parentes e amigos que, com seu incentivo, me fizeram chegar à conclusão do meu curso e começo de uma nova carreira.

Agradeço ao meu orientador, Luciano José Arantes, e ao Engenheiro Henry Fong Hwang, pela paciência e valiosa ajuda durante esse projeto. Que conduziram o trabalho com paciência e dedicação, sempre disponível a compartilhar todo o seu vasto conhecimento, fornecendo orientações valiosas e contribuindo para seu desenvolvimento. Sem a colaboração de ambos este TCC não seria possível.

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado e conseguiram me passar um pouco sobre o que é a profissão tão sonhada de Engenheiro Mecânico, sobre os desafios da indústria e pesquisa e o que esperar da jornada que se inicia.

“Se você descobrir por experiência própria que algo é um fato e contradiz o que alguma autoridade escreveu, você deve abandonar a autoridade e basear seu raciocínio em suas próprias descobertas.”

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

Para atender às pessoas com deficiência de locomoção, o mercado de cadeiras de rodas dispõe de poucos modelos e tamanhos de cadeiras de rodas, para uma quantidade muito grande de diferentes pessoas, corpos, tamanhos e necessidades, que precisam de utilizá-las. Isso faz com que, muitas vezes, o usuário necessite fazer adaptações posturais para poder utilizar a sua cadeira de rodas de uma maneira mais confortável para evitar lesões permanentes. Todavia, algumas dessas adaptações podem levar a sérios problemas ou apresentar um preço elevado, o que dificulta o acesso de uma grande parte da população. Há ainda alguns modelos que são de um preço mais acessível, porém não utilizam de um projeto muito bem elaborado, ou com materiais e uniões corretas e indicadas. Nesse projeto de fim de curso, a pesquisa visa desenvolver peças parametrizadas em software CAD para adequação postural. Essas peças serão futuramente avaliadas por um terapeuta ocupacional, de forma a continuar o projeto para atender aos requisitos de adaptação. O objetivo final é desenvolver um processo escalável, de precisão e tornar esse sistema de fácil acesso.

Palavras-chave: Cadeira de rodas; Tecnologia assistiva; Pessoas com deficiência.

ABSTRACT

To accommodate individuals with mobility impairments, the wheelchair market offers only a few models and sizes, despite the vast diversity of people, body types, and needs that require them. As a result, users often have to make postural adjustments to use their wheelchairs more comfortably, aiming to avoid permanent injuries. However, some of these adjustments can lead to serious issues or come at a high cost, limiting access for a large portion of the population. There are also some more affordable models, but they often lack well-designed projects or the correct materials and joints. This final project aims to develop parametrized parts in CAD software for postural adaptation. These parts will be evaluated by an occupational therapist in the future to continue the project and meet adaptation requirements. The ultimate goal is to develop a scalable, precise process and make this system easily accessible.

Keywords: Wheelchair, Assistive Technology, Disabled People.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Simulação no SOLIDWORK® de materiais variados (Sahoo et al., 2023).....	24
Figura 2: Análise de simulação de ergonomia/fatores humanos do esquema de projeto (Xiang et al., 2018)	25
Figura 3: Modelo de Geometria; A) Modelo atual B) Assento em blocos proposto; C) Assento em octógonos proposto (Almeida et al., 2017).....	26
Figura 4: Modelo de Malha; A) Modelo atual; B) Assento em blocos proposto; C) Assento em octógonos proposto (Almeida et al., 2017).....	26
Figura 5: Imagem 3d de desenho da chapa de alumínio do encosto.	29
Figura 6: Posição das medidas das equações, vista planificada da peça.....	31
Figura 7: Posição das medidas das equações, vista planificada da peça.....	31
Figura 8: Posição das medidas das equações.....	31
Figura 9: Vista superior do modelo de assento proposto.	32
Figura 10: Desenho técnico da peça do encaixe do suporte lateral, todas as medidas em mm....	33
Figura 11: Desenho técnico da peça do suporte lateral, todas as medidas em mm.....	33
Figura 12: Vista explodida da montagem do encosto da adaptação proposta.....	34
Figura 13: Vista explodida da montagem do encosto da adaptação proposta.....	34
Figura 14: Conjunto do encosto montado.....	35
Figura 15: Vista do assento com definição dos furos.....	35
Figura 16: Imagem mostrando a definição dos pontos fixos e das cargas aplicadas no encosto, onde as setas verdes são os pontos fixos, e as setas rosas são a direção da força aplicada.....	37
Figura 17: Figura mostrando a malha criada pelo software SolidWorks® para a peça.....	37
Figura 18: Figura mostrando a distribuição de tensões de von Mises no encosto e legenda que representa numericamente o significado das colorações.....	38
Figura 19: Figura mostrando o deslocamento no encosto e legenda que representa numericamente o significado das colorações.....	39
Figura 20: Figura Mostrando a deformação do encosto e legenda que representa numericamente o significado das colorações.	39

Figura 21: Imagem mostrando a definição dos pontos fixos e das cargas aplicadas no assento, onde as setas verdes são os pontos fixos, e as setas rosas são a direção da força aplicada.....	40
Figura 22: Figura mostrando a malha criada pelo software SolidWorks® para a peça.....	41
Figura 23: Figura mostrando a distribuição de tensões de von Mises no assento e legenda que representa numericamente o significado das colorações.....	42
Figura 24: Figura mostrando o deslocamento no assento e legenda que representa numericamente o significado das colorações.....	43
Figura 25: Figura Mostrando a deformação do assento e legenda que representa numericamente o significado das colorações.....	44
Figura 26: Peças do protótipo do encosto prontos.....	44
Figura 27: Montagem das peças do protótipo, fora da cadeira de rodas.....	45
Figura 28: Peça do protótipo do assento da cadeira de rodas.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COPRAS	<i>Complex Proportional Assessment</i>
CRITIC	<i>Criteria Importance Through Intercriteria Correlation</i>
FEM	Método dos Elementos Finitos
GMFCS	<i>Gross Motor Function Classification System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
Kg	Quilograma
mm	Milímetros
SUS	Sistema Único de Saúde
NBR	Norma Brasileira
SAE	<i>Society of Automotive Engineers – EUA</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1. Tecnologia Assistiva e a Evolução das Cadeiras de Rodas.....	20
2.2. Adaptações Necessárias para Pacientes com Mobilidade Reduzida (GMFCS nível III)	20
2.3. Materiais Utilizados em Cadeiras de Rodas.....	21
2.4. Modelos de Cadeiras de Rodas Disponíveis e Normas Técnicas.....	21
2.5. Inovações Recentes e Desafios no Desenvolvimento de Cadeiras Adaptadas.....	22
2.6. Seleção de Materiais para Chassi de Cadeiras de Rodas.....	22
2.7. Ergonomia e Melhorias no Design.....	22
2.8. Acessibilidade no Transporte e a Experiência dos Usuários de Cadeiras de Rodas.....	23
2.8.1 Barreiras Físicas e Sociais no Transporte Público.....	23
2.8.2 Impacto da Inaccessibilidade na Vida dos Usuários.....	23
2.9. Análise Estrutural e Simulações.....	23
2.9.1. Método dos Elementos Finitos (FEM).....	23
2.9.2. Impacto da Seleção de Materiais no Desempenho.....	24
2.9.3. Modelagem Computacional Aplicada ao Design de Ambientes Acessíveis.....	25
2.9.4. Aplicações de Modelagem e Simulação Computacional.....	25
2.9.5. Otimização de Design com Análise Estrutural.....	26
3. OBJETIVO.....	27
4. METODOLOGIA	27
4.1. Simulação Estrutural.....	35
5. RESULTADOS	36
6. DISCUSSÃO.....	46
7. CONCLUSÃO.....	47
8. REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Censo Demográfico realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010), em 2010, cerca de 23,9% da população brasileira sofre de algum tipo de deficiência. Ainda, segundo dados mais específicos, temos 13,3 milhões de pessoas que sofrem de dificuldade de locomoção, o que dá perto de 7% da população.

Muitas pessoas com deficiência tiveram a mobilidade afetada ou reduzida através de atividades e ocupações do cotidiano que as levaram a uma diminuição ou perda da independência. Isso pode até afetar a autoestima dessas pessoas (Antoneli, 2003). Os principais motivos que geram essas deficiências são lesão medular, paralisia cerebral, acidente vascular encefálico, amputações, doenças neuromusculares, síndromes, mielomeningocele, sequelas geradas por poliomielite, fratura de fêmur, doenças reumáticas, Alzheimer, traumatismo crânio encefálico, doença de Parkinson, diabetes, hidrocefalia, obesidade e doença mental. (Chaves et al., 2003). Uma maneira de interferir positivamente na vida dessas pessoas, é através da tecnologia assistiva, que é uma área de conhecimento que estuda as possibilidades de adaptações e modificações em produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão. (Brasil, 2009, p. 9)

Um dos equipamentos de tecnologia assistiva que faz parte das possibilidades de tecnologias assistivas para o deslocamento de pessoas que apresentam impossibilidade de se deslocar, temporária ou definitivamente, é a cadeira de rodas (Galvão et al., 2013, p. 13).

Para os deficientes físicos que necessitam da utilização de uma cadeira de rodas, ela se torna um item necessário para se garantir o direito de locomoção dessas pessoas com autonomia e independência, o que permite o seu fortalecimento social, político e econômico como cidadãos. Segundo levantamento do Inmetro, em uma seleção de produtos que foram retirados de sugestões, reclamações e denúncias de consumidores, feito na ouvidoria do Inmetro, ou por meio do site do Inmetro. Nessa seleção, foram adquiridas e testadas oito diferentes marcas de cadeiras de rodas manuais, de fabricação nacional, uso adulto, de 75 a 100 Kg. Nessa seleção, obtiveram o cenário de 100% de não conformidade com a norma técnica vigente, o que pode ser considerado preocupante no sentido de que, nem o usuário (cadeirante, ou aquele que faz uso do produto de forma temporária), tampouco a Administração Pública, quando de procedimentos licitatórios destinados ao Sistema Único de Saúde (SUS), de fato adquirem produtos seguros e que atendam à finalidade a que foram criados (Inmetro, 2013). Ou seja, as

cadeiras, que deveriam ser a extensão do cadeirante ou de quem delas faz uso, mostraram-se ineficientes, não oferecendo a segurança que delas se espera, prejudicando assim a autonomia do indivíduo e a sua sociabilidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tecnologia Assistiva e a Evolução das Cadeiras de Rodas

A tecnologia assistiva é definida como um conjunto de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência. Seu principal objetivo é promover a autonomia, qualidade de vida e inclusão dessas pessoas na sociedade (Brasil, 2009). Dentro desse contexto, a cadeira de rodas é uma das tecnologias assistivas mais antigas e fundamentais, tendo evoluído significativamente ao longo do tempo.

As primeiras cadeiras de rodas datam de séculos passados, mas foi no século XX que os avanços mais significativos ocorreram, com a introdução de novos materiais e designs voltados ao conforto e mobilidade. No entanto, apesar de melhorias constantes, muitas cadeiras de rodas ainda carecem de adaptabilidade e conforto, especialmente para pacientes com necessidades específicas, como aqueles classificados no sistema GMFCS (*Gross Motor Function Classification System*) nível III, que apresentam mobilidade reduzida e necessitam de suporte postural específico.

2.2. Adaptações Necessárias para Pacientes com Mobilidade Reduzida (GMFCS nível III)

Pacientes classificados no GMFCS nível III apresentam habilidades motoras limitadas e necessitam de auxílio para se locomover, muitas vezes utilizando cadeiras de rodas manuais. Esses pacientes requerem ajustes específicos em suas cadeiras para garantir conforto e segurança, prevenindo deformidades posturais e lesões por pressão (Chaves et al., 2003).

A adequação postural de cadeiras de rodas envolve a personalização de componentes, como encostos, assentos e apoios laterais, para atender às necessidades individuais de cada usuário. Estudos apontam que adaptações malfeitas podem levar a problemas de saúde graves, como escoliose e úlceras de pressão, além de afetar a qualidade de vida e a autoestima do usuário (Antoneli, 2003).

2.3. Materiais Utilizados em Cadeiras de Rodas

Os materiais usados na fabricação de cadeiras de rodas são escolhidos com base em critérios como resistência, peso e custo. Historicamente, alumínio e aço são os materiais mais comuns. No entanto, o aço carbono SAE 1020 destaca-se por sua ampla disponibilidade e baixo custo, características que o tornam uma escolha frequente na fabricação de componentes de cadeiras de rodas de baixo custo.

Segundo um estudo revisado, o aço 1020 possui boas propriedades mecânicas e é facilmente encontrado no mercado, facilitando a produção em larga escala. Além disso, sua resistência é adequada para suportar cargas significativas, como o peso do usuário e forças adicionais decorrentes do movimento e da utilização diária (Martins, 2017). A escolha do aço SAE 1020 no projeto visa atender tanto à necessidade de durabilidade quanto à redução de custos, o que é fundamental para aumentar o acesso a equipamentos de qualidade por uma parcela maior da população.

2.4. Modelos de Cadeiras de Rodas Disponíveis e Normas Técnicas

De acordo com um levantamento feito, muitas cadeiras de rodas disponíveis no mercado brasileiro apresentam não conformidades com as normas técnicas vigentes, como a NBR 9050, que regulamenta os critérios de acessibilidade. Essas não conformidades comprometem a segurança e a funcionalidade do equipamento, prejudicando a autonomia dos usuários.

A norma NBR 9050, que estabelece as diretrizes de acessibilidade para edificações, mobiliário e equipamentos urbanos, também oferece parâmetros importantes para o design de cadeiras de rodas. Por exemplo, especifica dimensões mínimas e recomendações para assentos e encostos que garantam conforto e segurança para uma ampla gama de usuários. A adequação às normas técnicas é essencial para garantir a segurança e a eficácia dos produtos, além de assegurar que as cadeiras sejam uma extensão do corpo do usuário, proporcionando mobilidade com segurança e conforto.

2.5. Inovações Recentes e Desafios no Desenvolvimento de Cadeiras Adaptadas

Nos últimos anos, houve avanços significativos na adaptação de cadeiras de rodas, impulsionados pela crescente demanda por soluções personalizadas. Tecnologias de modelagem e simulação, como o uso de software CAD e análises de elementos finitos, têm permitido um design mais preciso e adaptado às necessidades dos usuários.

Por exemplo, o uso de softwares como o SolidWorks® permite a criação de peças parametrizadas, que podem ser ajustadas de acordo com as medidas específicas do usuário. A simulação estrutural dessas peças ajuda a prever o comportamento sob diferentes condições de carga, garantindo que o design atenda aos requisitos de segurança e conforto.

No entanto, um dos principais desafios ainda é o alto custo de fabricação e a dificuldade de acesso a esses produtos personalizados. Projetos que buscam a utilização de materiais amplamente disponíveis e processos de fabricação mais simples, como corte CNC e dobra de chapa, têm sido essenciais para reduzir os custos e tornar essas adaptações mais acessíveis ao público em geral.

2.6. Seleção de Materiais para Chassi de Cadeiras de Rodas

A escolha de materiais para o chassi é um fator crucial para garantir desempenho, durabilidade e acessibilidade econômica. No estudo de Sahoo et al. (2023), utilizou métodos multicritérios (CRITIC, EDAS e COPRAS) para avaliar 12 materiais distintos, considerando propriedades como resistência à tração, densidade e custo. O ferro fundido cinzento foi identificado como a melhor opção devido ao seu equilíbrio entre custo e resistência, especialmente para cadeiras de baixo custo (Sahoo et al., 2023). Já, no estudo de Ismail (2012), foi avaliado materiais como aço ASTM A36, alumínio T6 e fibra de vidro E-Glass, destacando a fibra de vidro E-Glass como a opção mais segura e leve, ideal para cadeiras de rodas otimizadas (Ismail 2012).

2.7. Ergonomia e Melhorias no Design

A ergonomia é essencial para garantir o conforto e a segurança do usuário de cadeiras de rodas. No estudo de Ismail (2012), foi enfatizado a importância de ajustes personalizados nos componentes, como apoio de assento e rodas, para melhorar a experiência de uso diário. Foram utilizadas simulações para prever pontos de tensão e deformação nos componentes, permitindo

ajustes no design para reduzir riscos de lesões. A integração de melhorias ergonômicas no design visa proporcionar uma postura mais adequada e conforto ao longo do uso (Ismail 2012). A interação entre cadeiras de rodas e seus usuários desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de ambientes acessíveis e universais. O conceito de "combinação cadeira de rodas/usuário" abrange não apenas a pessoa que utiliza a cadeira, mas também seus cuidadores e as condições do ambiente de uso. Essa abordagem destaca a importância de considerar as limitações físicas dos usuários e dos cuidadores, além das barreiras físicas presentes em espaços projetados inadequadamente (Xiang et al., 2018)

2.8. Acessibilidade no Transporte e a Experiência dos Usuários de Cadeiras de Rodas

2.8.1 Barreiras Físicas e Sociais no Transporte Público

A acessibilidade no transporte público enfrenta desafios tanto físicos quanto sociais. No estudo realizado em Londres, identificou-se que usuários de cadeiras de rodas frequentemente encontram obstáculos físicos, como rampas quebradas, elevadores inoperantes e falta de espaço adequado em ônibus e trens. Esses problemas são agravados por barreiras sociais, como a falta de treinamento dos motoristas e conflitos pelo uso de áreas prioritárias com outros passageiros, como pais com carrinhos de bebê. Essas situações não apenas comprometem o acesso ao transporte, mas também geram sentimentos de frustração, ansiedade e exclusão social entre os usuários (Velho, 2018)

2.8.2 Impacto da Inacessibilidade na Vida dos Usuários

A falta de acessibilidade nos sistemas de transporte tem consequências diretas na qualidade de vida dos usuários de cadeiras de rodas. Além de limitar sua mobilidade, esses desafios contribuem para o isolamento social e a dependência de alternativas mais caras, como táxis. O estudo mostrou que muitos usuários evitam sair de casa devido ao medo de enfrentar barreiras, agravando sentimentos de exclusão e reduzindo as oportunidades de integração social. Essa realidade evidencia a necessidade de melhorar a infraestrutura e as políticas de transporte para atender às necessidades desse grupo (Velho, 2018)

2.9. Análise Estrutural e Simulações

2.9.1. Método dos Elementos Finitos (FEM)

A aplicação do Método dos Elementos Finitos (FEM) foi fundamental na análise estrutural dos chassis de cadeiras de rodas nos estudos revisados. Em um dos estudos, foi conduzido simulações utilizando o software SolidWorks®, que permitiram identificar pontos críticos de

tensão, contribuindo para a otimização do design e a seleção de materiais com maior resistência. Uma gama restrita de critérios potenciais e possibilidades são o foco principal da investigação do MCDM. Doze materiais alternativos e sete elementos concorrentes estão sendo avaliados para esta investigação, conforme mostrado na figura 1 (Sahoo et al., 2023). Já, em outro estudo, foi realizado uma análise comparativa com o software ALGOR®, avaliando três diferentes modelos de cadeira de rodas. Os resultados indicaram que o Design 3, fabricado com fibra de Vidro E-Glass, apresentou o maior fator de segurança, atingindo um valor de 2,77, evidenciando sua superioridade em termos de resistência e segurança estrutural (Ismail 2012).

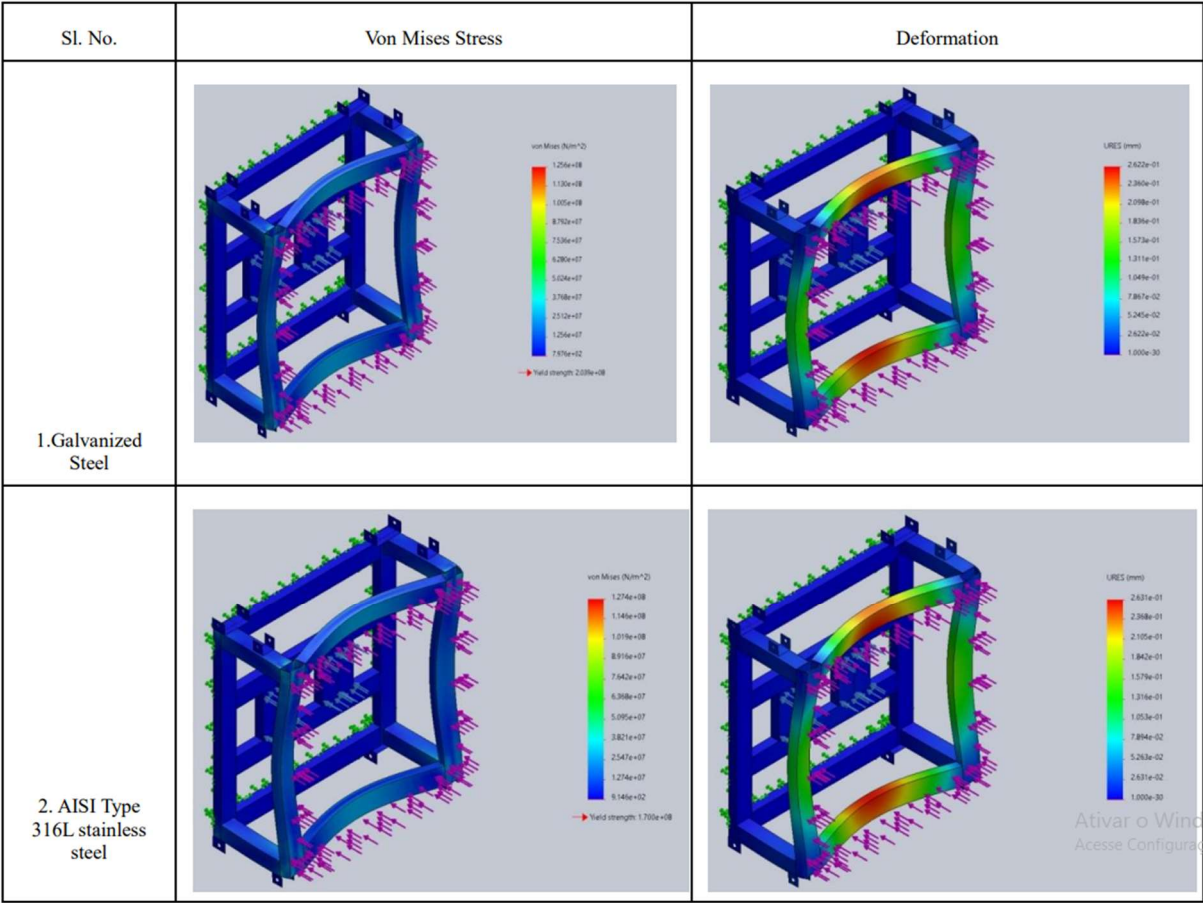


Figura 1: Simulação no SOLIDWORK® de materiais variados (Sahoo et al., 2023).

2.9.2. Impacto da Seleção de Materiais no Desempenho

A análise comparativa realizada nos dois estudos citados no tópico 2.9.1, revelou que materiais leves, como a fibra de vidro E-Glass e ligas de alumínio, oferecem vantagens em termos de redução de peso e aumento da resistência. Contudo, o custo elevado desses materiais continua sendo um desafio para a implementação em cadeiras de baixo custo. A utilização de simulações

estruturais permitiu uma avaliação precisa dos materiais, ajudando a balancear custo e desempenho para maximizar a eficiência do projeto.

2.9.3. Modelagem Computacional Aplicada ao Design de Ambientes Acessíveis

Em outro estudo, A modelagem digital foi utilizada para simular o uso de cadeiras de rodas em ambientes projetados, como vagões de trem. O estudo utilizou softwares como SolidWorks® e JACK® para criar modelos digitais que reproduzem os movimentos de usuários e cuidadores em cenários típicos, como mostrado na figura 2. Essas simulações ajudaram a avaliar layouts e propor melhorias nos espaços, como círculos de giro maiores e posicionamento otimizado de assentos prioritários e banheiros universais. A modelagem digital provou ser uma ferramenta eficaz para prever desafios ergonômicos e propor soluções no estágio inicial do design (Xiang et al., 2018).



Figura 2: Análise de simulação de ergonomia/fatores humanos do esquema de projeto (Xiang et al., 2018).

2.9.4. Aplicações de Modelagem e Simulação Computacional

A modelagem computacional tem sido uma ferramenta essencial no design de soluções acessíveis. No estudo realizado por Almeida et al. (2017), ferramentas como o ANSYS® foram utilizadas para simular e analisar a eficiência de diferentes sistemas de encosto de cadeira de rodas. O objetivo era melhorar a adequação postural de crianças com deficiências motoras, otimizando a interação entre o usuário e o dispositivo. As simulações permitiram prever falhas

estruturais e avaliar o desempenho dos materiais e design, auxiliando na criação de soluções personalizadas e seguras para os usuários. Conforme pode-se ver nas figuras a seguir, aonde a figura 2 e 3 mostra a maneira como as geometrias foram desenvolvidas, elas foram desenvolvidas através do software AutoDesk Fusion 360®, utilizando as dimensões do assento utilizado na pesquisa, que é de 440 mm x 550 mm x 50 mm. No estudo, propuseram novos assentos os quais foram mantidas as mesmas dimensões totais, porém um modelo, dividido em blocos que possuem dimensões de 50 mm x 40 mm, exceto o último pilar, com medida de 50 mm x 40 mm, e outro modelo, dividido em octógonos, seguindo o mesmo padrão das medidas dos blocos anteriores, conforme mostrado na figura 3, e na figura 4, mostra-se o processo para modelagem de elementos finitos (Almeida et al., 2017).

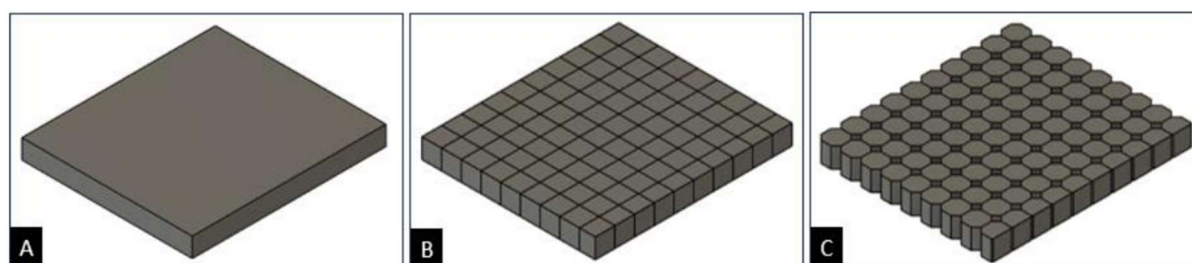


Figura 3: Modelo de Geometria; A) Modelo atual B) Assento em blocos proposto; C) Assento em octógonos proposto (Almeida et al., 2017).

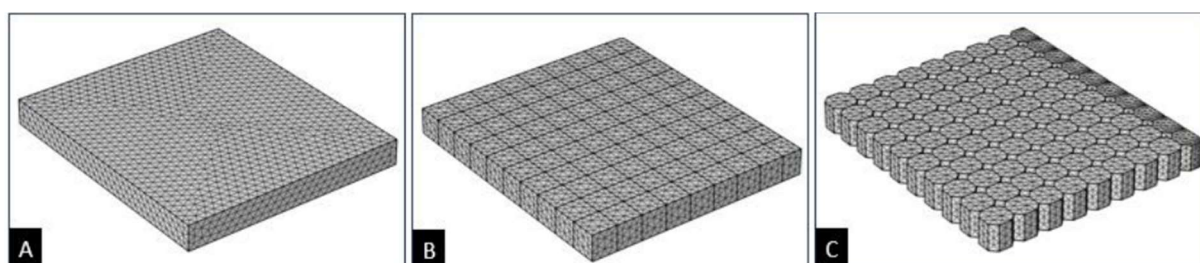


Figura 4: Modelo de Malha; A) Modelo atual; B) Assento em blocos proposto; C) Assento em octógonos proposto (Almeida et al., 2017).

2.9.5. Otimização de Design com Análise Estrutural

A análise estrutural aplicada ao transporte acessível incluiu testes de resistência e durabilidade de sistemas de encosto projetados para cadeiras de rodas. O estudo destacou o uso do Método dos Elementos Finitos (FEM) para identificar pontos críticos de tensão e ajustar o design conforme necessário. Essa abordagem garantiu maior segurança e eficiência, promovendo soluções mais adequadas às necessidades específicas dos usuários. Além disso, o estudo ressaltou a importância de integrar métodos computacionais no desenvolvimento de tecnologias

assistivas para aumentar a previsibilidade e o desempenho de novos projetos (Almeida et al., 2017).

3. OBJETIVO

Tendo em vista as informações apresentadas na introdução, pode-se ver que a cadeira de rodas é um objeto muito importante para as pessoas que tem mobilidade reduzida e necessitam de utilizá-las, e devem ser tratadas como uma extensão do próprio corpo do usuário. Ao mesmo tempo, as opções no mercado não atendem bem às necessidades únicas de cada pessoa, deixando a desejar no quesito de adaptabilidade, conforto e ergonomia.

O objetivo dessa pesquisa é de, junto com outras pesquisas, que comunicam entre si, disponibilizar um projeto para as adaptações que os cadeirantes fazem em suas cadeiras. Projeto o qual visaria o conforto, o menor preço e materiais de fácil acesso.

Na ocasião, uma equipe interdisciplinar de profissionais do design e da terapia ocupacional trabalhará em conjunto desenvolvendo a melhor geometria para proporcionar o máximo conforto para o usuário.

Esse trabalho terá como objetivo fazer os desenhos da geometria pensada, fazendo as adaptações necessárias para que tenha maior rigidez, escolhendo os materiais que atendam aos requisitos de leveza, minimizando, assim, o peso total que o cadeirante terá que movimentar. Sendo, portanto, de fácil obtenção, baixo custo e o mais acessível possível.

4. METODOLOGIA

Para fazer o modelo do encosto, foi preciso, primeiramente, encontrar as medidas das cadeiras de rodas, o que foi possível pegar na NBR 9050, norma a qual regulamenta acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Nessa NBR, as informações foram retiradas do capítulo 4, onde se foi considerado as medidas entre 5% a 95% da população brasileira, ou seja, os extremos correspondentes a mulheres de baixa estatura e homens de estatura elevada, essa informação nos diz que a distância entre as duas manoplas e os apoios do encosto das cadeiras de rodas ficam entre 400 e 460 mm uma da outra, e o assento tem entre 420 a 450 mm (NBR 9050).

Foram inicialmente consideradas duas opções para o material da chapa. A primeira foi utilizar alumínio ASTM 1100 de 3 mm, um material leve, de baixo custo e fácil de encontrar. No entanto, apesar de reduzir o peso final para o usuário, a disponibilidade de chapas de alumínio

pode ser limitada e, em alguns casos, seu custo pode ser elevado, o que levou à exclusão dessa alternativa. Em seu lugar, optou-se pelo aço carbono SAE 1020, um material amplamente disponível e de uso comum em diversas indústrias, como na fabricação de peças mecânicas, construção de pontes, edifícios e navios (Martins, 2017). Assim, foi decidido o uso de uma chapa de aço carbono SAE 1020 com espessura de 3 mm, devido à sua facilidade de acesso e menor custo.

Neste projeto, o foco inicial foi desenvolver uma geometria e dimensões que pudessem se adaptar aos diferentes modelos de cadeiras de rodas disponíveis. Posteriormente, esse mesmo princípio foi aplicado à seleção da chapa do assento e, quando necessário, à inclusão de apoios laterais para atender às necessidades específicas do usuário.

Para a fabricação das chapas para o assento, encosto e apoios laterais, utilizou-se processos simples, sendo estes, corte e dobra de chapa, visando um valor menor para o custo de fabricação total, conforme mostrado na figura 5. Nessas peças, procurou-se uma geometria a qual reduzisse o peso total das mesmas, para que pudessem ser instaladas de maneira fácil na cadeira de rodas, e, que no encosto, tivesse um modo de posicionar e ajustar os apoios laterais. Todas essas características foram pensadas para que o usuário final possa ajustar as peças para sua necessidade e ficar o mais confortável possível.

Em relação ao processo de fabricação, se optou por métodos mais comuns, então foram escolhidos dois processos simples e acessíveis: corte e dobra de chapas. Esses métodos são amplamente utilizados na indústria e podem ser explicados de forma prática.

Corte de chapa: Para fabricar as peças, utilizamos o corte CNC (Controle Numérico Computadorizado) com plasma ou laser. Esse processo é como um "corte automatizado de alta precisão". Em vez de uma tesoura gigante, uma máquina equipada com um bico de plasma ou um feixe de laser realiza o corte com altíssima precisão.

- **Corte a plasma:** Funciona como um jato de energia extremamente quente que derrete o metal no ponto de corte, criando formas precisas a partir de chapas metálicas.
- **Corte a laser:** Utiliza um feixe de luz concentrado para cortar o metal, sendo ideal para trabalhos mais detalhados ou com acabamentos finos.

O CNC controla todos os movimentos da máquina, garantindo que as peças tenham o tamanho e o formato exatos projetados no software CAD (desenho assistido por computador). Essa tecnologia também reduz o desperdício de material e acelera o processo de produção.

Dobra de chapa: Após o corte, a peça passa por uma máquina chamada prensa dobradeira, que utiliza uma barra ou uma matriz para dobrar o metal em ângulos predeterminados. Esse

processo permite criar formas específicas, como as curvas e abas necessárias para fixação e ajuste das peças na cadeira de rodas.

Optamos por esses métodos por serem amplamente disponíveis e economicamente viáveis, reduzindo os custos de produção e tornando as adaptações mais acessíveis para os usuários.

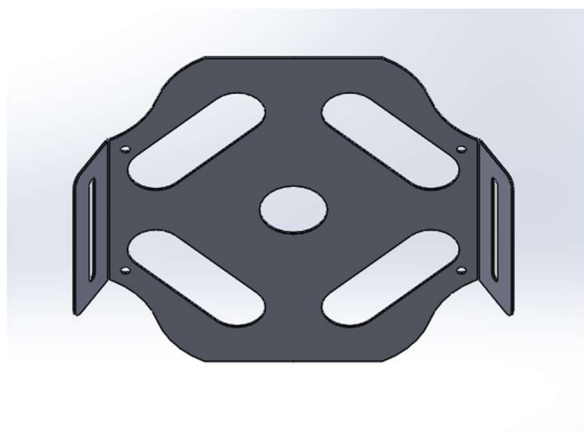


Figura 5: Imagem 3d de desenho da chapa de alumínio do encosto.

Para realizar a fixação do apoio das costas nos tubos das manoplas, foi pensado em utilizar dois parafusos passantes, com o conjunto de porcas e arruelas, em cada lado, pois são opções baratas e fáceis de serem instaladas.

Embora tenha sido encontrada a informação de que as manoplas do encosto das cadeiras de rodas costumam ter a entre 400 a 460 mm, pode-se encontrar cadeiras de rodas em outras medidas, como, por exemplo, a cadeira que foi usada para a produção do protótipo, que tem 370 mm de altura e 380 mm de largura, com as manoplas ficando entre 290 mm.

Para solucionar esse problema, foram feitas equações (Eq. 1 até Eq. 14) para definir as medidas, a partir das medidas da cadeira do usuário. Então, a partir dessas equações, será possível definir as medidas para sua cadeira de rodas.

Nas equações, o valor de X é a medida horizontal do espaço que se tem para acomodar o encosto, como por exemplo, pode ser tratado como o espaço entre os apoios de braço da cadeira. Já o valor de Y, seria o espaço disponível da altura das manoplas. E a medida Z, seria o espaço entre o centro do tubo das manoplas.

$$A = \frac{19 \times Y}{45} \quad \text{Equação 1.}$$

$$B = Z \quad \text{Equação 2.}$$

$$C = \frac{Y}{5} \quad \text{Equação 3.}$$

$$D = Y \quad \text{Equação 4.}$$

$$E = \frac{X - (1,11 \times Z)}{\sin(30)} \quad \text{Equação 5.}$$

$$F = \frac{X}{6,475} \quad \text{Equação 6.}$$

$$G = 10 \quad \text{Equação 7.}$$

$$H = \frac{Y}{3} \quad \text{Equação 8.}$$

$$I = \frac{J}{3} \quad \text{Equação 9.}$$

$$J = \frac{Y}{2,5} \quad \text{Equação 10.}$$

$$K = \frac{X}{5,9} \quad \text{Equação 11.}$$

$$L = \frac{8 \times F}{5} \quad \text{Equação 12.}$$

$$M = \frac{Y}{4,5} \quad \text{Equação 13.}$$

$$N = 1,11 \times Z \quad \text{Equação 14.}$$

Nessas equações, a letra isolada é o valor a ser encontrado, e será esse valor que irá ser substituído na equação a qual era se refere. A posição de cada equação está exposta nas figuras abaixo (Fig. 6 até Fig. 8).

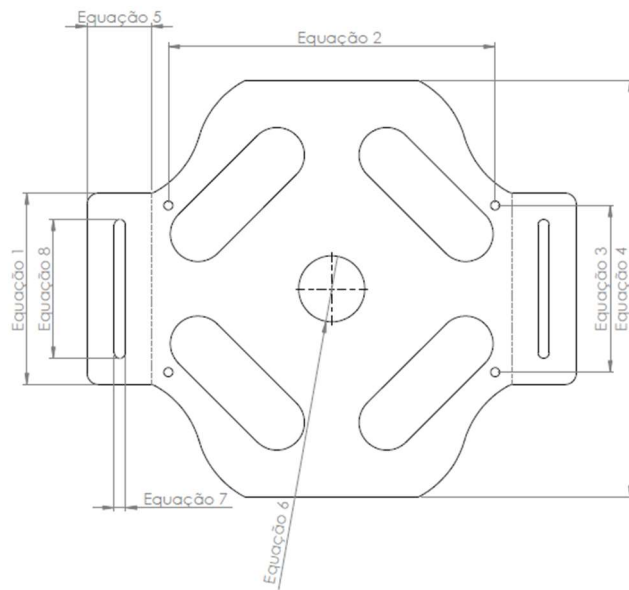


Figura 6: Posição das medidas das equações, vista planificada da peça.

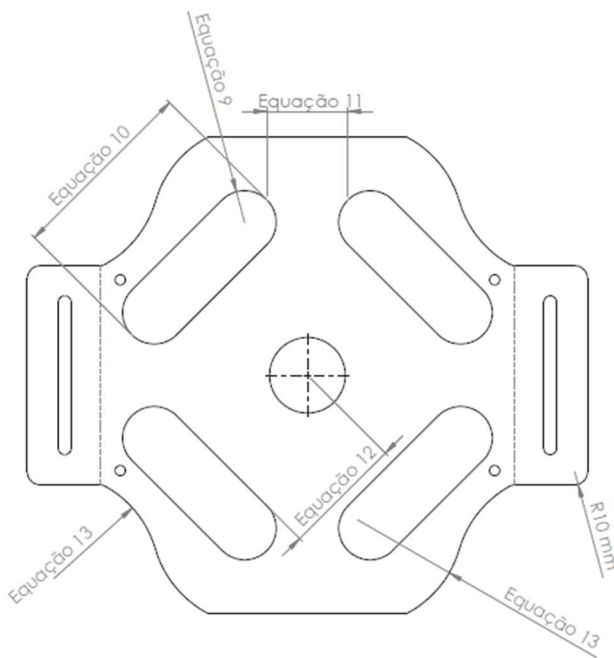


Figura 7: Posição das medidas das equações, vista planificada da peça.

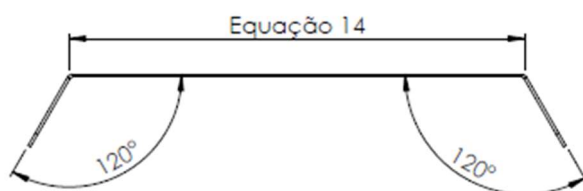


Figura 8: Posição das medidas das equações

Para o assento, será preciso apenas 3 medidas, sendo elas, a profundidade do assento, referida como dimensão T, na figura 9, a largura do assento, referida como dimensão S, e a distância entre as barras de sustentação dele, que será referida como R, assim, montaremos uma caixa retangular, com abas de 20 mm nos 4 lados, o que dará resistência estrutural e servirá para comportar a espuma ou o material utilizado para estofar o assento. Ele também será fixado utilizando conjuntos de parafusos m8 com porcas e arruelas.

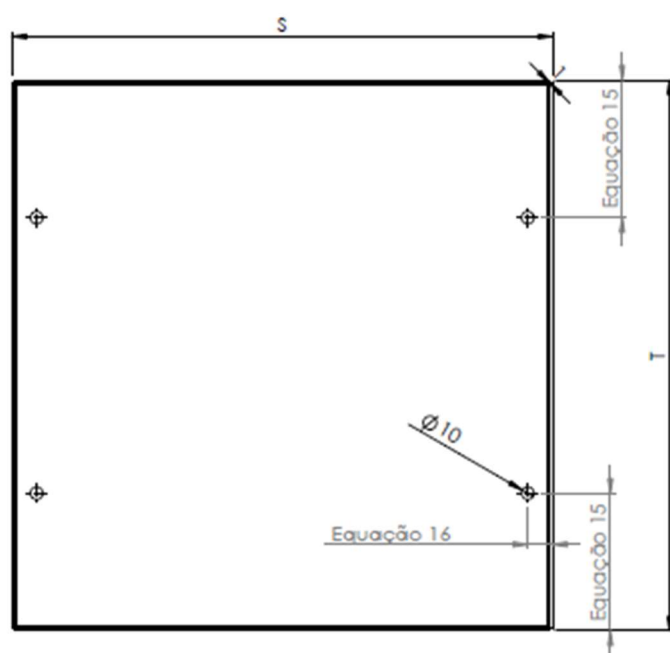


Figura 9: Vista superior do modelo de assento proposto.

Na figura 8, podemos ver as equações 15 e 16, as quais serão demonstradas abaixo. Nelas, o valor da letra P será o valor a ser substituído onde está Equação 15, e o valor da letra Q será substituído no local da Equação 16

$$P = \frac{T}{4} \quad \text{Equação 15.}$$

$$Q = \frac{S - R}{2} \quad \text{Equação 16.}$$

Para as demais peças, elas seguem as mesmas medidas para todas as dimensões de cadeiras.

As peças estarão expostas nas figuras 10 e 11, a seguir.

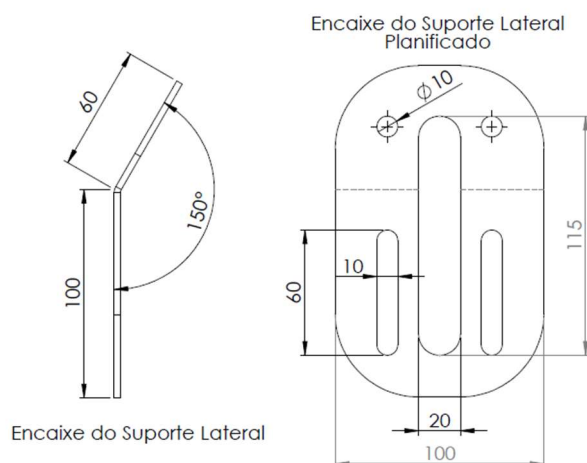


Figura 10: Desenho técnico da peça do encaixe do suporte lateral, todas as medidas em mm.

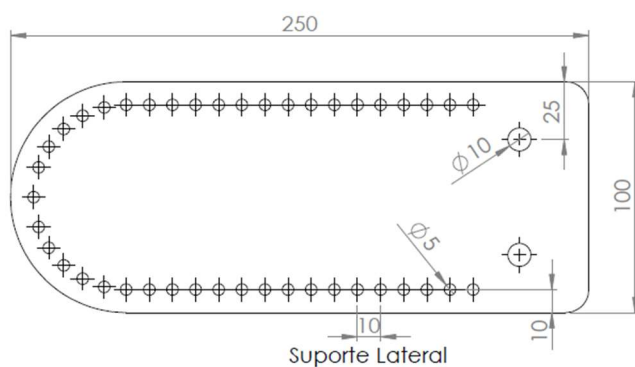


Figura 11: Desenho técnico da peça do suporte lateral, todas as medidas em mm.

Essas peças do apoio lateral, tem encaixes e ajustes, podendo ser adaptadas às funções do usuário final. A seguir, será mostrado o local para montagem dessas peças. Todas as junções são recomendadas para serem feitas utilizando parafusos M8, com seu respectivo conjunto de porca e arruelas. As montagens estão expostas nas imagens a seguir (Fig. 12 e Fig. 13). Nessas figuras, temos nomeados os furos e rasgos que serão usados na montagem; definindo, assim, qual furo se encaixa com qual furo, e qual rasgo com qual rasgo, e o que utilizar para montar, deixando mais claro como juntar todas as peças. E na figura 14, temos o conjunto montado.

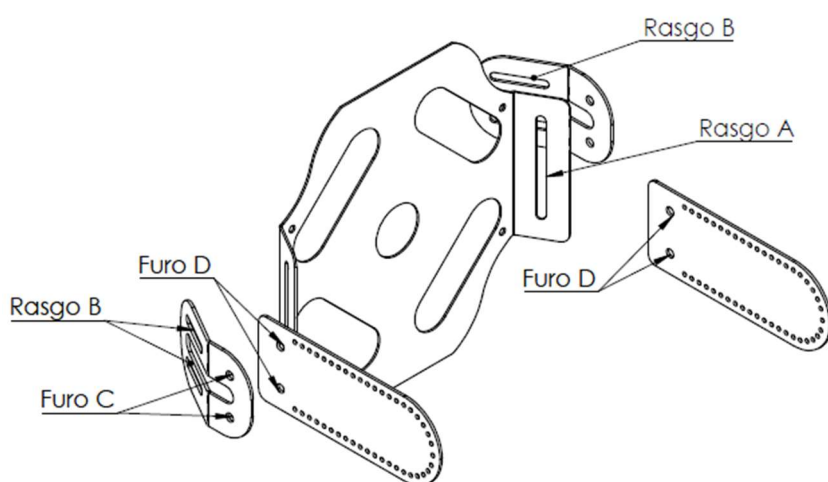


Figura 12: Vista explodida da montagem do encosto da adaptação proposta.

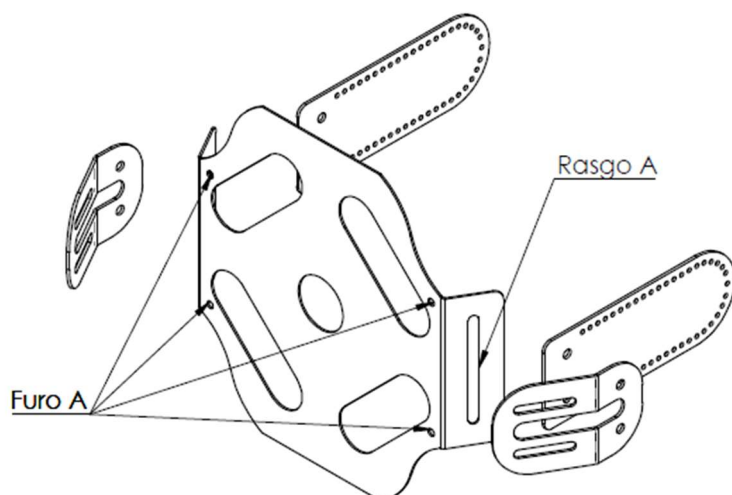


Figura 13: Vista explodida da montagem do encosto da adaptação proposta.

Dentre os furos apresentados nessas imagens, serão parafusados os dois rasgos B do encaixe do suporte lateral, no rasgo A do encosto. E os dois furos C, do encaixe do suporte lateral, serão parafusados nos dois furos D, do suporte lateral.

Os furos A, que estão no encosto, serão parafusados diretamente nas barras das manoplas da cadeira de rodas; o que os fixará no local serão também um conjunto de parafusos, porcas e arruelas M8, passantes nos tubos da cadeira.

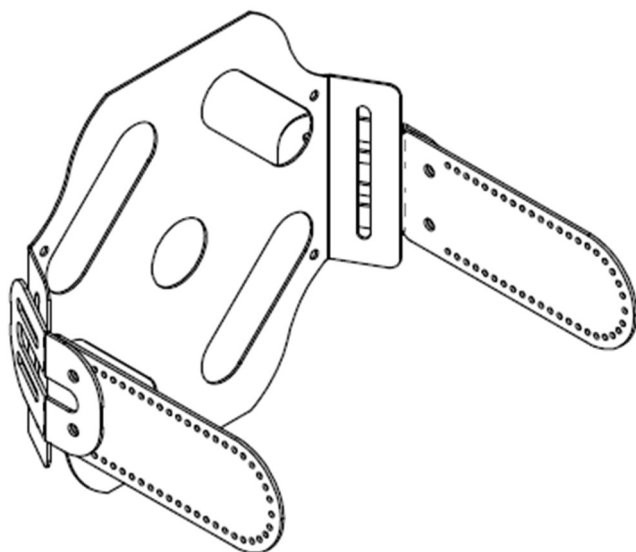


Figura 14 Conjunto do encosto montado.

Na figura 15, temos o assento. Nele está definido os furos B, os quais, assim como os furos A do encosto, serão parafusados, com um conjunto de parafusos, porcas e arruelas M8, diretamente nas barras de apoio da cadeira de rodas, onde fixará a peça no local definido.

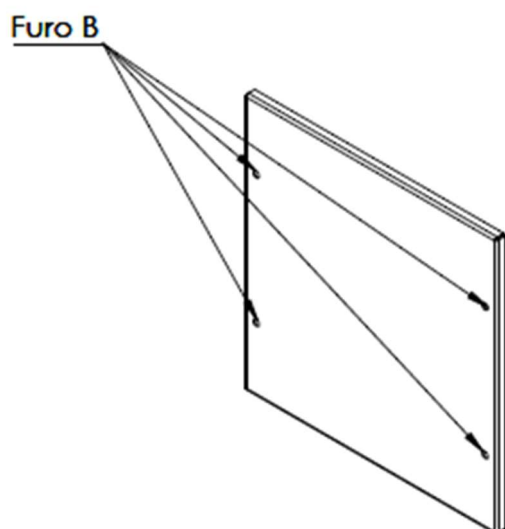


Figura 15: Vista do assento com definição dos furos

4.1. Simulação Estrutural

Para garantir que as peças sejam adequadas, foi realizado uma simulação das mesmas, utilizando-se o software SolidWorks®, imaginando uma carga de 100 Kg sendo distribuída ao

longo da superfície do encosto e do assento. Opta-se por essa opção, pensando em uma pessoa apoiando o seu peso na peça.

Para realizar a simulação, utilizou-se as cadeiras para a maior medida encontrada na NBR 9050. Foi levado em consideração o fato de ser nessas medidas que o centro da peça estaria mais longe dos pontos de apoio, gerando um maior braço de força. Ou seja, foi feita a simulação utilizando as medidas para X e Y de 460 e 440 mm, respectivamente. Já para o assento, utilizou as medidas 460 mm e 450 mm, para as variáveis S e T, respectivamente.

Em relação a malha do encosto, foi utilizada uma malha de casca com superfícies médias, com o tamanho do elemento sendo 18,5319 mm, a tolerância de 0.926594 mm. A mesma tem uma qualidade de plotagem alta, com um total de nós de 3283, e um total de elementos de 1485. Para a simulação, também definiu os 4 furos onde irão os parafusos como pontos fixos.

Em relação a malha do assento, foi utilizada uma malha de casca com superfícies médias, com o tamanho do elemento sendo 15.3872 mm, a tolerância de 0.769361 mm. A mesma tem uma qualidade de plotagem alta, com um total de nós de 3441, e um total de elementos de 1646. Para a simulação, também definiu os 4 furos onde irão os parafusos como pontos fixos.

5. RESULTADOS

Nas figuras 16 até 25, são expostos os resultados obtidos através das simulações, onde foi aplicado uma força de 100 Kg distribuída ao longo das peças. Nesses resultados, observou-se que os resultados das peças foram satisfatórios e serão melhor abordados no tópico 6 - Discussão.

Através do exposto nas partes anteriores, da construção do protótipo, e das simulações de cargas realizadas no software SolidWorks®, chegamos ao resultado de que as peças irão atender às necessidades expostas. A seguir, temos os protótipos nas figuras 26 até 28.

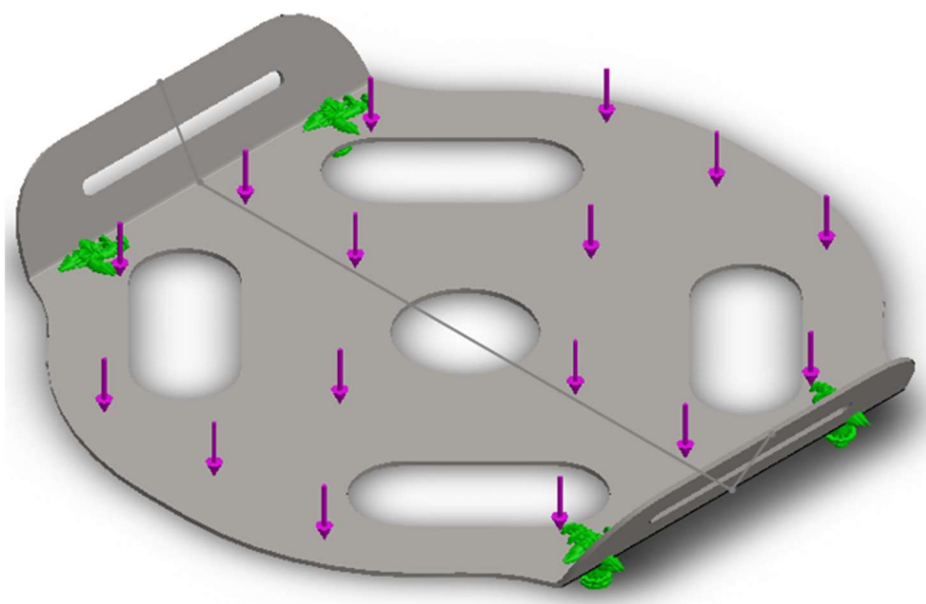


Figura 16: Imagem mostrando a definição dos pontos fixos e das cargas aplicadas no encosto, onde as setas verdes são os pontos fixos, e as setas rosas são a direção da força aplicada.

Na figura 16, observamos os pontos fixos (setas verdes) e as cargas aplicadas (setas rosas) no encosto. Os pontos fixos indicam as áreas onde o encosto é fixado à estrutura da cadeira de rodas, garantindo estabilidade. As cargas simulam o peso de um usuário médio (100 kg) distribuído de forma uniforme na superfície do encosto, testando sua resistência e capacidade de suportar uso diário.

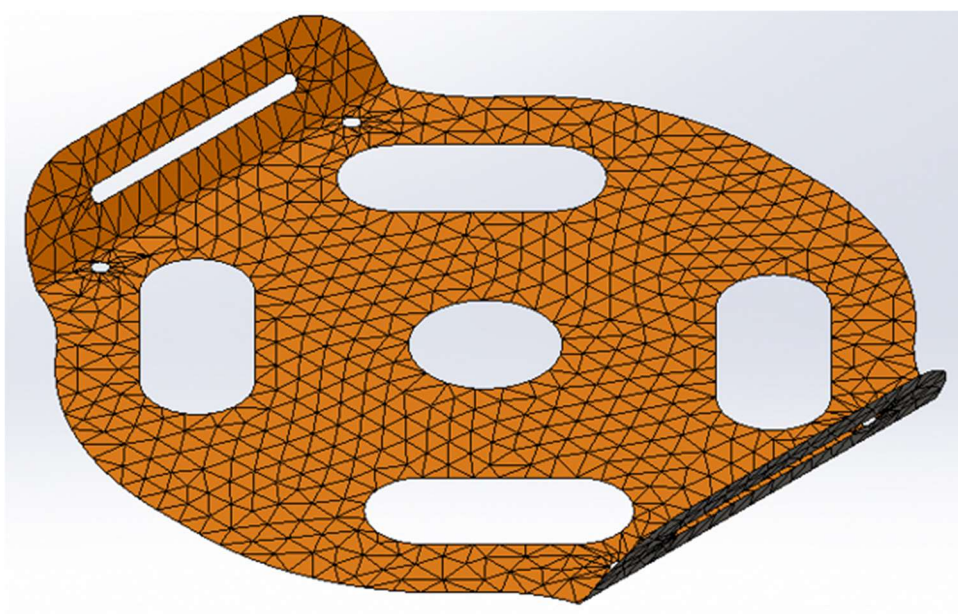


Figura 17: Figura mostrando a malha criada pelo software SolidWorks® para a peça.

Na figura 17, é mostrado a malha estrutural gerada no software SolidWorks®, composta por pequenos triângulos que fragmentam a peça para análise. Essa técnica permite calcular a distribuição de tensões com precisão, identificando regiões críticas sujeitas a maior esforço.

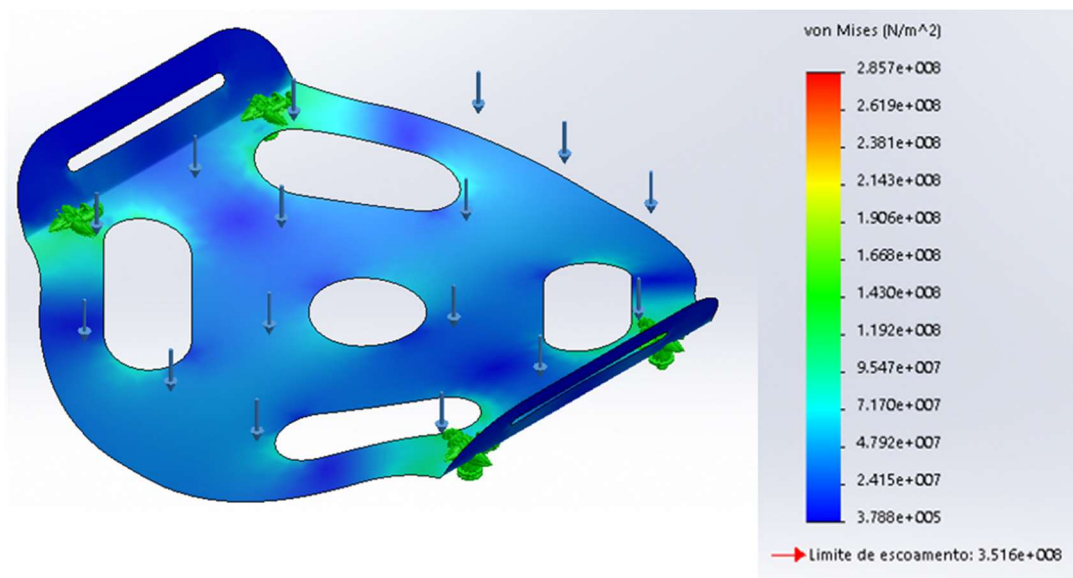


Figura 18: Figura mostrando a distribuição de tensões de von Mises no encosto e legenda que representa numericamente o significado das colorações.

Na figura 18, é apresentada a distribuição das tensões de von Mises no encosto. As cores indicam a intensidade das tensões, com regiões mais escuras representando esforços menores e regiões mais claras indicando áreas mais críticas. Este resultado confirma que o encosto suporta as cargas aplicadas sem ultrapassar o limite de resistência do material. Embora alguns valores se aproximem do limite de escoamento, esses ocorreram de forma isolada na malha, sugerindo possíveis imperfeições na modelagem ou pequenas imprecisões no cálculo, já que não foram observados em toda a região analisada.

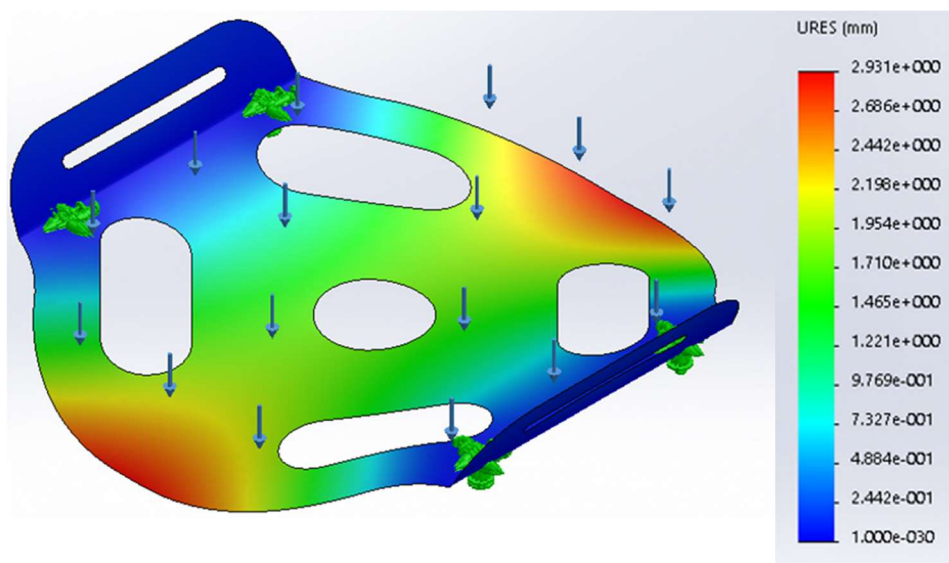


Figura 19: Figura mostrando o deslocamento no encosto e legenda que representa numericamente o significado das colorações.

Na figura 19, destaca o deslocamento do encosto sob a carga simulada de 100 kg. Apesar do deslocamento máximo de 3 mm, o valor permanece dentro de limites aceitáveis, garantindo que a peça mantenha sua funcionalidade sem comprometer o conforto ou a segurança do usuário.

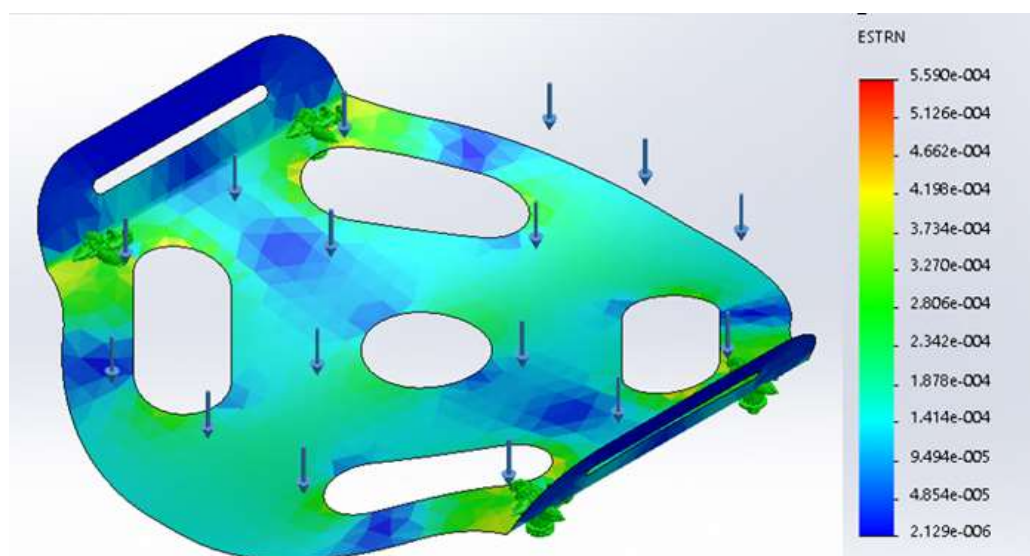


Figura 20: Figura Mostrando a deformação do encosto e legenda que representa numericamente o significado das colorações.

Na figura 20, tem se que a deformação exibida nesta figura é ampliada para visualização, mostrando como o encosto se comporta sob a carga aplicada. Embora haja deformação, ela é pequena e não compromete a integridade ou o desempenho da peça durante o uso.

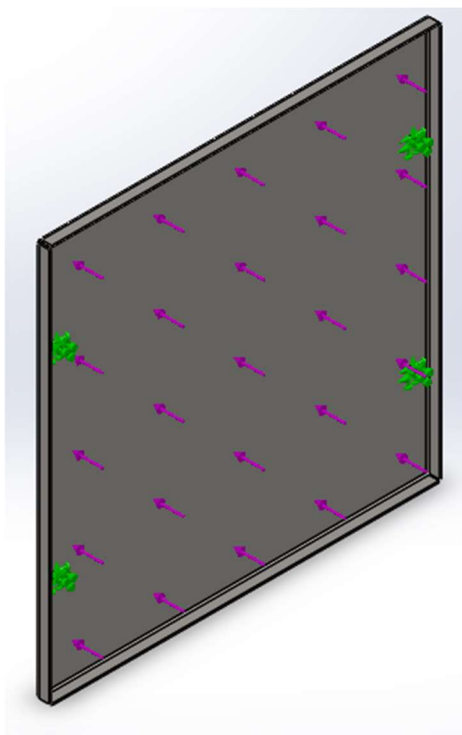


Figura 21: Imagem mostrando a definição dos pontos fixos e das cargas aplicadas no assento, onde as setas verdes são os pontos fixos, e as setas rosas são a direção da força aplicada.

Similar à figura 16, a figura 21 ilustra os pontos fixos (setas verdes) e as cargas aplicadas (setas rosas) no assento. Esses parâmetros simulam como a peça reagiria ao peso do usuário, assegurando que a fixação e o material escolhido sejam suficientes para o uso diário.

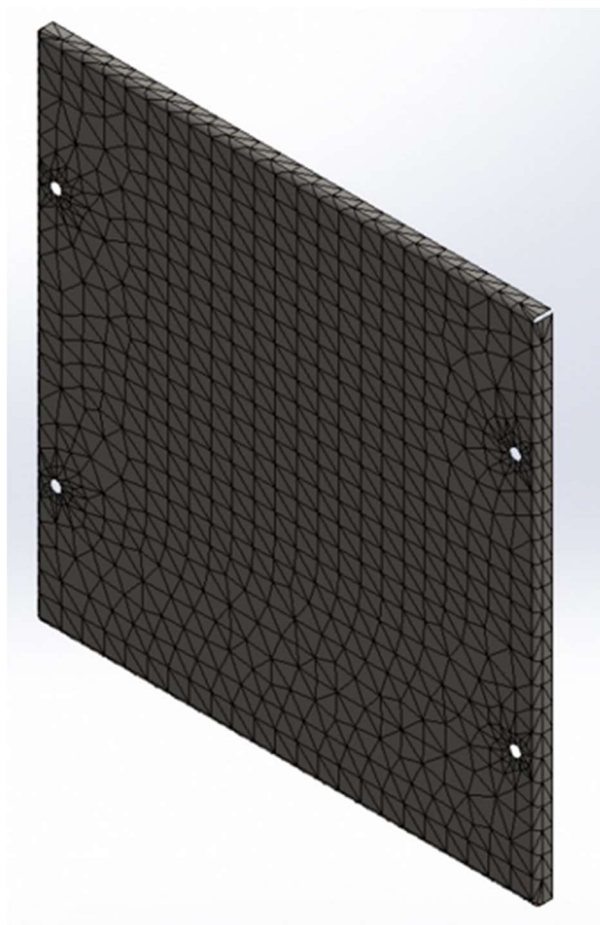


Figura 22: Figura mostrando a malha criada pelo software SolidWorks® para a peça.

Na figura 22, a malha criada para o assento segue o mesmo princípio da apresentada no encosto. A subdivisão em pequenos elementos permite analisar a peça em detalhe, identificando como a força se distribui ao longo de sua superfície.

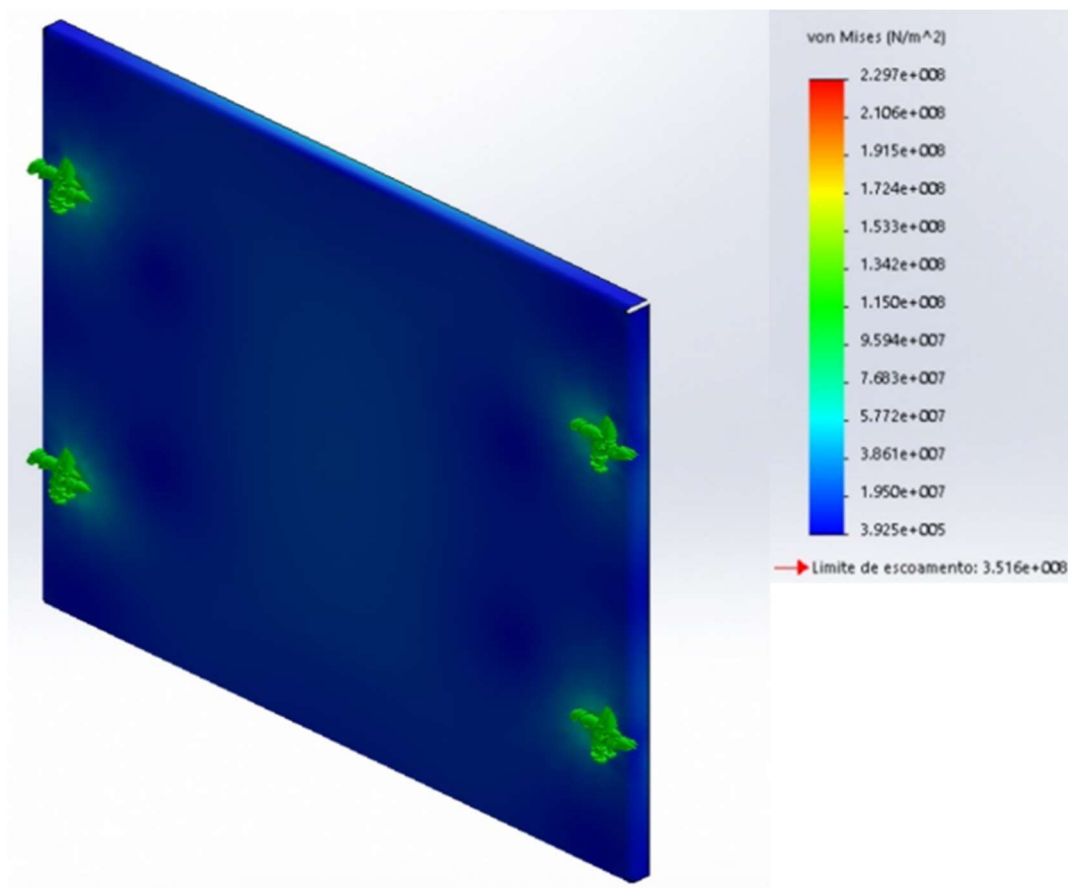


Figura 23: Figura mostrando a distribuição de tensões de von Mises no assento e legenda que representa numericamente o significado das colorações

Na figura 23, a análise de tensões de von Mises no assento confirma que o material suporta bem as cargas aplicadas, mantendo as tensões dentro do limite de escoamento. Essa segurança é crucial para evitar deformações permanentes durante o uso. Embora alguns valores estejam próximos do limite de escoamento, esses surgiram de forma pontual na malha, o que pode indicar pequenas falhas na modelagem ou imprecisões nos cálculos, já que não foram registrados de maneira consistente em toda a área analisada.

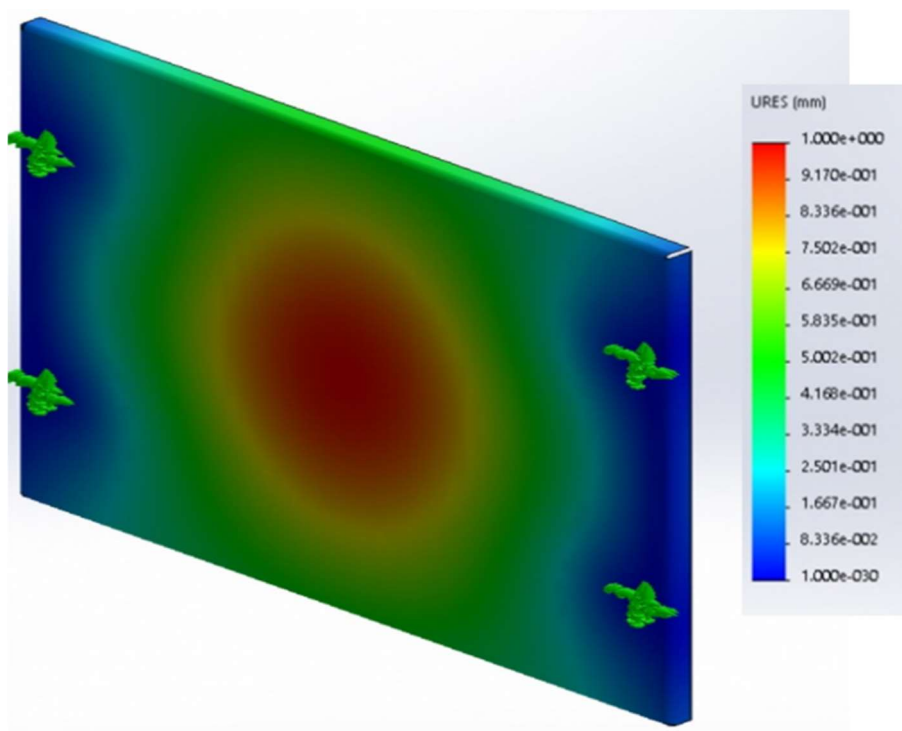


Figura 24: Figura mostrando o deslocamento no assento e legenda que representa numericamente o significado das colorações.

Na figura 24, o deslocamento máximo do assento foi de aproximadamente 1 mm, como mostrado na figura. Esse valor é considerado insignificante, demonstrando que o design é robusto e capaz de oferecer conforto ao usuário.

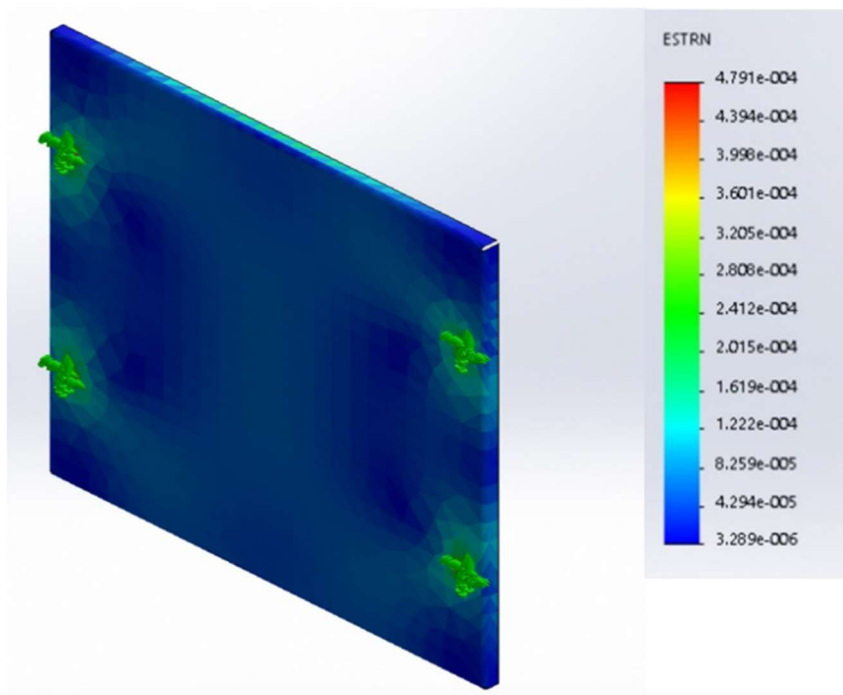


Figura 25: Figura Mostrando a deformação do assento e legenda que representa numericamente o significado das colorações.

A figura 25 mostra a deformação ampliada do assento sob carga. Assim como no encosto, a deformação ocorre dentro dos limites aceitáveis, validando o projeto para o uso diário sem comprometer a segurança.



Figura 26: Peças do protótipo do encosto prontos.



Figura 27: Montagem das peças do protótipo, fora da cadeira de rodas.



Figura 28: Peça do protótipo do assento da cadeira de rodas.

As figuras 26 a 28, exibem os protótipos do encosto e do assento após a fabricação. A montagem final demonstra a aplicação prática do projeto, com peças ajustáveis e prontas para avaliação e uso.

6. DISCUSSÃO

Conforme sugerido na introdução, o objetivo de produzir peças para adequação postural de maneira mais acessível e barata foi alcançado utilizando um material de fácil acesso e ampla utilização, com métodos de produção muito comuns, como corte CNC e dobra hidráulica, métodos de produção facilmente encontrados, cumprindo as necessidades definidas.

Em relação às simulações feitas no SolidWorks®, podemos ver que a tensão de von Mises ficou abaixo do limite de escoamento, com o limite de escoamento sendo de 351,6 MPA, e tendo o valor de 285,7 MPA no encosto, e de 229,7 MPA no assento. Embora algumas literaturas definam o valor do limite de escoamento do Aço Carbono sendo mais baixo que o valor definido na biblioteca do SolidWorks®, onde ele pode ser encontrado em valores de 300 MPA até 350 MPA (De Espíndola et al, 2019), o que mostra que o valor encontrado ficou próximo do limite de escoamento. Essa proximidade pode gerar pequenos pontos que acabem deformando e encruando, aumentando a dureza e resistência mecânica dos materiais e diminuindo sua ductilidade, o que pode comprometer a longevidade do componente sob condições de um uso no cenário extremo da simulação, que seria com as peças sofrendo um esforço de 100 Kg distribuído na sua superfície. Embora o deslocamento tenha sido em torno de 3 mm no encosto, e de 1 mm no assento, já era algo esperado de acontecer, desde que a tensão de von Mises se mantivesse menor que o limite de escoamento.

Adicionalmente, este projeto apresenta um grande potencial para ser replicado em diferentes contextos, especialmente em locais onde o acesso a tecnologias assistivas de qualidade ainda é limitado. A escolha do aço carbono SAE 1020 e a utilização de processos de fabricação amplamente disponíveis, como o corte CNC e a dobra de chapas, tornam o projeto economicamente viável e acessível a uma parcela maior da população. Isso reforça o compromisso do trabalho em democratizar o acesso a soluções ergonômicas, promovendo inclusão social e igualdade de oportunidades.

Outro ponto de destaque é a possibilidade de personalização oferecida pelas peças desenvolvidas. Ao adotar um design parametrizado, o projeto permite ajustes precisos às necessidades individuais dos usuários, algo que não é frequentemente encontrado em cadeiras de rodas convencionais. Essa flexibilidade é crucial para atender pessoas com diferentes graus de mobilidade reduzida e garantir que as adaptações sejam funcionais e confortáveis. Além disso, a aplicação futura de simulações mais detalhadas, com cenários variados de uso, pode contribuir para uma evolução contínua do design.

Por fim, a colaboração interdisciplinar entre engenheiros, terapeutas ocupacionais e designers desempenhará um papel central na evolução do projeto. A integração de diferentes perspectivas não apenas aprimorará o conforto e a funcionalidade das adaptações, mas também possibilitará a inclusão de novos materiais e tecnologias no futuro. Essa abordagem reflete a importância de unir conhecimentos técnicos e experiências práticas para desenvolver soluções que impactem positivamente a vida dos cadeirantes e ampliem os horizontes da tecnologia assistiva.

Tendo em vista as simulações e o protótipo, certificou-se que a peça atendeu ao esperado. Conforme exposto inicialmente, seguirá para avaliação de uma equipe interdisciplinar de designers e terapeutas ocupacionais para definirem um estofado que complemente as peças para garantir um melhor conforto para o usuário final.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho aborda a adaptação de cadeiras de rodas para melhorar o conforto, acessibilidade e reduzir custos, considerando a significativa parcela da população brasileira com mobilidade reduzida. A utilização de tecnologia assistiva, como cadeiras de rodas, é essencial para promover a inclusão e a independência dessas pessoas. No entanto, as opções disponíveis no mercado muitas vezes não atendem às necessidades específicas dos usuários em termos de adaptabilidade, conforto e ergonomia.

Para resolver essas deficiências, foi desenvolvido um projeto focado em criar cadeiras de rodas mais eficientes, utilizando materiais acessíveis e de baixo custo. O projeto terá continuidade por uma equipe interdisciplinar composta por profissionais de design e terapia ocupacional, que se dedicarão a otimizar a geometria das cadeiras para proporcionar o máximo de conforto e rigidez necessários. A escolha do aço carbono SAE 1020 se deu por sua disponibilidade e custo-benefício.

A metodologia incluiu a definição de medidas padrão de cadeiras de rodas conforme a NBR 9050, garantindo compatibilidade com uma ampla gama de usuários. A fabricação das peças das cadeiras de rodas envolveu principalmente processos de corte e dobra de chapa, com o objetivo de manter os custos de produção baixos. Enquanto a geometria foi projetada para reduzir o peso total das peças e permitir fácil instalação e ajuste.

O desenvolvimento das peças no software SolidWorks® e a simulação estrutural mostraram resultados promissores. As cadeiras suportaram uma carga de até 100 kg com segurança, validando a eficácia do projeto. O leve deslocamento das peças sob carga foi considerado

dentro dos limites aceitáveis, confirmando que o design proporciona conforto, segurança e adaptabilidade às necessidades dos usuários.

8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=R0xSeFNpSnIxmU1BaWRQYkNXemJTdTVOQmdZemZ5eXJwcGRrRmxKb2d4VT0=>

IBGE, Releitura dos dados de pessoas com deficiência no Censo Demográfico 2010 à luz das recomendações do Grupo de Washington. **Censo Demográfico 2010. Nota Técnica 01/2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. DOI: 10.5752/P.2175-5841.2012v10n28p1122

MARTINS, Ronny Araujo. Uso do extrato de Jucá (*Caesalpinia ferrea*) como inibidor verde de corrosão frente ao aço 1020 em meio ácido. 2017. 72 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)** - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017. URI: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8248>

Antoneli, M. R. M. Prescrição de Cadeira de Rodas. In: Teixeira E.; Sauron F. N., Santos L. S. B., & Oliveira M. C. de. *Terapia Ocupacional na Reabilitação Física – AACD* (pp. 297 – 311). 2003. São Paulo: Editora Roca. DOI: <https://doi.org/10.47222/2526-3544.rbto43657>

Brasil. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. **Tecnologia Assistiva, Brasília, 2009**. Disponível em: https://www.galvaofilho.net/livro-tecnologia-assistiva_CAT.pdf

Chaves E. S., Rizo, L. R., & Alegretti, A. L. (2003). Adequação Postural para o Usuário de Cadeira de Rodas. In: Teixeira E., Sauron F. N., Santos L. S. B., & Oliveira M. C. de. *Terapia Ocupacional na Reabilitação Física – AACD*. São Paulo: Editora Roca, 2003. p. 175–191. **AACD** (pp. 175-191). DOI: 10.47222/2526-3544.rbto43657

Galvão, C. R. C., Barroso, B. I. d. L., & Grutt, D. d. C. A tecnologia assistiva e os cuidados específicos na concessão de cadeiras de rodas no Estado do Rio Grande do Norte. **Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar**, v. 21, n. 1, p. 11–18, 2013. <https://doi.org/10.4322/cto.2013.003>

INMETRO, Programa de Análise de Produtos: Relatório Sobre a Análise em Cadeiras de Rodas. **Divisão de Orientação e Incentivo à Qualidade - Diviq Diretoria de Avaliação da Conformidade – Dconf**. 2013. Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/cadeira_rodas.pdf

De Espíndola, Luiz Ricardo Wensing, Lussoli, Rosineide Junkes. Utilização do Nióbio e Níquel no Aço 1020, Visando Aumentar a Resistência Mecânica. **O Foro Científico Estudantil-FOCIEST 2019**, p. 32. Disponível em: <https://www.unisociesc.com.br/wp-content/uploads/2022/12/Anais-FOCIEST-201-Eixo-Eng-Sau-Sociais-compactado.pdf>

Ismail, A. M. B. (2012). Design and Analysis of Wheelchair in Term of Daily Usage - SolidWorks. **Universiti Malaysia Pahang**. URI: <http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/4892/>

Sahoo, S. K., & Choudhury, B. B. (2023). Evaluating Material Alternatives for Low Cost Robotic Wheelchair Chassis: A Combined CRITIC, EDAS, and COPRAS Framework. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**. Doi: <https://doi.org/10.59038/jjmie/170419>

Xiang, Z. R., Zhi, J. Y., Dong, S. Y., Li, R., & He, S. J. (2018). *The impacts of ergonomics/human factors of wheelchair/user combinations on effective barrier-free environments design: A case study of the Chinese universal rail coach layout*. **International Journal of Industrial Ergonomics**, **67**, 229–241. DOI: 10.1016/j.ergon.2018.05.016

Almeida, O. C. B., Silva, L. D. V., Souza, J. P. B., Junior, I. V. S., Santos, G. F., Bouchonneau, N., Araujo, M. C., Silva, G. D. G. A., & Marcelino, J. F. Q. (2017). *Application of Computational Modeling and Numerical Simulation for the Development of New Wheelchair Seat-Back Systems to Improve Postural Adequacy of Children with Motor Disabilities*. **Procedia Engineering**, **204**, 311–318. DOI: 10.1016/j.proeng.2018.02.001

Velho, R. (2018). *Transport Accessibility for Wheelchair Users: A Qualitative Analysis of Inclusion and Health*. **International Journal of Transportation Science and Technology**, **8**, 103–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.04.005>