Universidade do porto

Faculdade de engenharia

Departamento de engenharia mecânica

ESTUDO DE REDUÇÃO DE PESO EM TRANSFORMAÇÃO DE AMBULÂNCIA ATRAVÉS DA ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS

Douglas Willian Cabral da Silveira

Dissertação submetida a

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Para o grau académico de

Mestre em Mecânica Computacional

SUPERVISOR

Prof. Dr. Abílio De Jesus

CO-SUPERVISOR

Prof. Dra. Ana Maria Azevedo Neves

PORTO - PT

2022

O trabalho apresentado nesta dissertação foi realizado na

Faculdade de Engenharia

Universidade do Porto

Porto, Portugal

Douglas Willian Cabral da Silveira

E-mail: up202001534@up.pt

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n

4200-465 Porto

Portugal

RESUMO

Cada vez mais, as empresas que querem se manter competitivas e apresentar bons produtos ao mercado, procuram sempre através da tecnologia e pesquisa, aprimorar cada vez mais seus processos e produtos. Uma das inovações tecnológicas utilizadas pelas indústrias são as simulações computacionais, que vem ganhando cada vez mais importância, uma vez que permite encaminhar soluções aos problemas que o setor lida diariamente.

Basicamente, essa tecnologia inclui o uso de *softwares*, onde para o nosso caso será o *SolidWorks*, que testam virtualmente o comportamento de um produto ou sistema sob várias condições de fronteira (ex. cargas), onde através da análise por elementos finitos, com uma geração de malhas refinadas e por meios de cálculos automáticos potentes, cada vez mais é encontrado uma proximidade das soluções que são fornecidas por este método. Com a finalidade de analisar os sistemas e assim garantir que todos os critérios de segurança sejam aplicados de maneira a garantir a integridade do mesmo.

A grande vantagem do uso dessa ferramenta é simular o comportamento de um sistema real, afim de mitigar erros de projeto e permitir soluções efetivas de implementação ao processo estudado, onde entre demais ganhos, podemos citar, a redução do tempo de implementação dos projetos industriais, grande redução no tempo de lançamento de novos produtos, redução de custos globais e aumento do percentual de sucesso do novo produto e processo desenvolvido.

Neste sentido, e em colaboração com a empresa Auto Ribeiro, Lda a realização deste trabalho de projeto teve como fundamento a necessidade de aprimorar os reforços de chaparia e itens de carpintaria utilizados em uma ambulância do tipo B, modelo Mercedes Sprinter, onde nesta transformação a viatura protótipo desenvolvida com os reforços de chaparia e carpintaria disponíveis ocasionará em um peso elevado a transformação, e então deve-se desenvolver sistemas mais leves, desde que mantenham-se os níveis de segurança e funcionalidades exigidos para cada um deles, a ser também realizado uma avaliação dos itens utilizados, a garantir assim, a validação e utilização dos mesmos para este tipo de transformação estudada.

Os sistemas encontrados como possível melhoria para a redução de peso foram:

Chaparia – Reforços do *Charriot*, Reforços do banco encosto de rebater fixo e suporte de soros.

Carpintaria – Madeira do chão e madeira da divisória.

Os novos sistemas utilizados serviram para substituir os mais antigos, fazendo com que o problema do peso elevado que foi calculado para essa transformação protótipo seja resolvido e assim garantir uma viatura que esteja dentro dos padrões exigidos pela norma e com uma adaptação inovadora, que respeita todas as necessidades e especificações requeridas. Onde consequentemente também contribui para uma redução no impacto ambiental, tendo em vista que serão reduzidos os desperdícios e a quantidade de material.

Palavras-chave: Inovações tecnológicas, Elementos finitos, Redução de peso, *SolidWorks*, Ambulância, Sistemas mais leves, Soluções efetivas.

ABSTRACT

Increasingly, companies that want to remain competitive and present good products to the market, always seek through technology and research, to be increasingly improving their processes and products. One of the technological innovations used by industries are computer simulations, which have been gaining more and more importance, since they allow solutions to the problems that the sector deals daily.

Basically, this technology includes the use of software, which in our case will be SolidWorks, which virtually test the behaviour of a product or system under various stress conditions, where through finite element analysis, with a generation of refined meshes and by means of powerful automatic calculations, a proximity to the solutions that are provided by this method is increasingly found. In order to analyse the systems and thus ensure that all safety criteria for all health professionals and users are applied in order to guarantee its integrity.

The great advantage of using this tool is to simulate the behaviour of a real system, in order to mitigate design errors and allow effective implementation solutions to the studied process, where among the other gains, we can mention, the reduction of the implementation time of the projects. industries, great reduction in time to launch new products, reduction of global costs and increase in the percentage of success of the new product and process developed.

In this sense, and in collaboration with the company Auto Ribeiro, Lda, the realization of this project work was based on the need to improve the sheet metal reinforcements and carpentry items used in an ambulance type B, model Mercedes Sprinter, where in this transformation the prototype vehicle developed with the available sheet metal and carpentry reinforcements will result in a high weight for the transformation, and then lighter systems must be developed, provided that the levels of safety and functionality required for each of them are maintained, to be also carried out an evaluation of the items used, thus ensuring their validation and use for this type of transformation studied.

The systems found as a possible improvement for weight reduction were:

Metal Plate Department – *Charriot* reinforcements, bench reinforcements, fixed folding backrest and IV pole.

Carpentry – Wood for the floor and wood for the partition.

The new systems used were used to replace the older ones, solving the problem of the high weight that was calculated for this prototype transformation and thus guaranteeing a vehicle that meets the standards required by the standard and with an innovative adaptation, which respects all requirements and required specifications. Where, consequently, it also contributes to a reduction in the environmental impact, given that waste and the amount of material will be reduced.

Keywords: Technological innovations, Finite elements, SolidWorks, Lighter systems, Effective solutions, Weight reduction, Ambulance.

´´Grandes descobertas e melhorias invariavelmente envolvem a cooperação de muitas mentes.''

Alexander Graham Bell.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente ao Prof. Dr. Abílio de Jesus (orientador) e Prof. Ana Maria Azevedo Neves (co-orientador) por todo suporte e desenvolvimento académico para a realização deste projeto de dissertação. Também gostaria de agradecer ao Eng. Alexandre Vila Pouca, Diretor do Departamento Técnico da empresa Auto Ribeiro, Lda. e por todo o suporte e autorização para a realização deste projeto.

Também gostaria de agradecer à minha família, principalmente minha esposa Alana Guimarães Bonfim, que em todo momento esteve ao meu lado durante esse período académico do mestrado e a todos que de alguma forma me deram força e paciência durante a elaboração deste projeto.

Agradeço Também a Deus por tudo que vem sendo alcançado em minha vida até hoje, pois sem ele nada seria possível.

Índice

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO 1
1.1 Segurança de estruturas veiculares 1
1.2 Introdução ao método dos elementos finitos 2
1.3 Importância das simulações computacionais na indústria 3
1.4 A empresa Auto Ribeiro 4
1.5 Explicação do problema 5
1.6 Objetivos 5
1.7 Estrutura e organização da dissertação 6
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7
2.1 Histórico 7
2.2 Tipos de ambulância e transformação 8
2.3 Introdução ao método dos elementos finitos 11
2.3.1 MEF para os problemas de mecânica dos sólidos 12
2.4 Geração da malha 15
2.4.1 Forma do elemento de malha 16
CAPÍTULO 3: NORMAS APLICADAS A VALIDAÇÃO DE AMBULÂNCIAS E ANÁLISE DE *CRASH TEST* 18
3.1 Requisitos regulamentares para dispositivos médicos 18
3.2 Requisitos regulamentares para medição da massa 22
3.3 Requisitos regulamentares para o teste de integridade 23
3.4 *Crash Test* 24
3.4.1 Fixação da maca principal no chão do veículo 25
3.4.2 Fixação de dispositivos médicos 26
3.4.3 Fixação da mobília 27
3.4.4 Preparação do compartimento do paciente para o teste de impacto 28
CAPÍTULO 4: AVALIAÇÃO DE CASO 30
4.1 Carpintaria e chaparia 30
4.1.1 Indicadores de chaparia 30
4.2 Apresentação do l*ayout* da transformação 32
4.2.1 Indicador de distribuição por setor 33
4.2.2 Seleção dos sistemas críticos a serem avaliados 34
4.3 Diagrama de forças para a simulação computacional 35
4.3.1 Diagrama para o *charriot*, carrinho e paciente 35
4.3.2 Diagrama para banco encosto de rebater 37
4.3.3 Diagrama para suporte de soros 39
CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS 43

5.1 Estudo de avaliação para chaparia e carpintaria 43
5.2 Simulação para os reforços do *Charriot* 43
5.3 Simulação para o reforço banco encosto de rebater fixo 47
5.4 Simulação para suporte de soros 51
5.5 Simulação para a madeira da divisória 54
5.6 Simulação para os armários de teto direito e esquerdo 56
5.7 Estudo de melhoria para redução de peso 59
5.7.1 Projeto de melhoria para o sistema do *Charriot* 59
5.7.2 Projeto de melhoria para o sistema do banco encosto de rebater fixo 62
5.7.3 Projeto de melhoria para o sistema do suporte de soros 65
5.7.4 Projeto de melhoria para o chão de madeira 67
5.7.5 Projeto de melhoria para a madeira da divisória 69
5.7.6 Projeto de melhoria para os armários de teto direito e esquerdo 72
5.8 Cálculo comparativo do aperfeiçoamento dos sistemas para a redução de peso 74
CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO 76
6.1 CAPÍTULO 1 76
6.2 CAPÍTULO 2 77
6.3 CAPÍTULO 3 77
6.4 CAPÍTULO 4 77
6.5 CAPÍTULO 5 77
6.6 TRABALHO FUTURO 78
Referências 79
ANEXO A: Dados Técnicos, dimensões e pesos do Sprinter Furgão 81
ANEXO B: Características técnicas para o aço de baixo teor de carbono – DC01 83
ANEXO C: Características técnicas para o aço S235JR / S275JR / S355JR 84
ANEXO D: Características técnicas para o vidro de acrílico 86
ANEXO E: Características técnicas para o poliestireno expandido (EPS) 89
ANEXO F: Características técnicas para o contraplacado madeira de choupo 90
ANEXO G: Características técnicas para a madeira MDF Standard / Hidrófugo 91
ANEXO H: Características técnicas para os equipamentos da Auto Ribeiro *Charriot* A150 e Banco Encosto de Rebater 93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Unidade Auto Ribeiro (AR) 4
Figura 2 Ambulância a) antigas b) atual (Nunes P, 2015; Medical Expo) 7
Figura 3 Ambulância tipo A1 (AR) 8
Figura 4 Ambulância tipo A2 (AR) 8
Figura 5 Ambulância tipo B (AR) 9
Figura 6 Ambulância tipo C (AR) 9
Figura 7 Classificação dimensional das ambulâncias 10
Figura 8 Elementos unidimensionais e interpolação de função (Shrama, 2020) 11
Figura 9 Gráfico de convergência de malha (Hansen, 2020) 16
Figura 10 Redução do erro com um melhor refinamento da malha (SimScale, 2017) 16
Figura 11 Malha Tetraédrica em um cubo (Elaborada pelo autor). 17
Figura 12 Direção individual para cada teste (EN 1789) 23
Figura 13 Crash test 24
Figura 14 Requisitos de avaliação para fixação interna (Kaya, 2019) 25
Figura 15 Detalhe de fixação da maca ao chão do veículo (AR) 26
Figura 16 Preparação em armário de teto (AR) 27
Figura 17 Preparação em armário de gavetas (AR) 28
Figura 18 Preparação para teste Dinâmico (AR) 28
Figura 19 Suporte para acoplar ao sistema de teste dinâmico (AR) 29
Figura 20 Porcentagem e Peso (kg) médio para chaparia de Ambulâncias tipo A2 30
Figura 21 Porcentagem e Peso (kg) médio para chaparia de Ambulâncias tipo B 31
Figura 22 Porcentagem e Peso (kg) médio para chaparia de Ambulâncias tipo C 31
Figura 23 Porcentagem e Peso (kg) médio para chaparia de Ambulâncias tipo VDTD 31
Figura 24 Layout interno da ambulância proposta (AR) 33
Figura 25 Indicador de distribuição dos pesos 34
Figura 26 Descrição dos itens do sistema (AR) 35
Figura 27 Charriot A150 (esquerda) / Carrinho e maca (direita) (AR) 36
Figura 28 Representação montada do charriot, carrinho e maca (AR) 36
Figura 29 Diagrama do conjunto e seus respectivos centros de gravidade 37
Figura 30 Diagrama para sistema charriot, carrinho, maca e paciente 37
Figura 31 Conjunto do banco encosto de rebater (AR) 38
Figura 32 Diagrama centro de massa do conjunto banco assento de rebater e pessoa 38
Figura 33 Simulação suporte de soros (AR) 39
Figura 34 Diagrama centro de massa do suporte de soros 40
Figura 35 Montagem da madeira da divisória 40
Figura 36 Diagrama para simulação computacional madeira da divisória 41
Figura 37 Demonstração do arranjo para as portas dos armários 41
Figura 38 Condições de fronteira para as portas dos armários de teto 42
Figura 39 Componentes para simulação computacional do conjunto do charriot 43
Figura 40 Condições de fronteira para o sistema do charriot 44
Figura 41 Malha para os componentes do sistema do charriot atual 45
Figura 42 Tensão de Von Mises 46
Figura 43 Campo de deslocamentos 46
Figura 44 Fator de segurança 47
Figura 45 Componentes para simulação computacional do conjunto banco encosto de rebater fixo 47
Figura 46 Condições de fronteira para o sistema do banco encosto de rebater fixo 48
Figura 47 Fixação do reforço de chaparia ao chassi 48
Figura 48 Malha para os componentes do sistema do banco encosto de rebater fixo 49

Figura 49 Tensão de Von Mises 50
Figura 50 Campo de deslocamentos 50
Figura 51 Fator de segurança 50
Figura 52 Componentes do sistema do suporte de soros 51
Figura 53 Condições de fronteira para o sistema dos suportes de soros 51
Figura 54 Malha para os componentes do sistema do suporte de soros 52
Figura 55 Tensão de Von Mises 53
Figura 56 Campo de deslocamentos 53
Figura 57 Fator de segurança 53
Figura 58 Malha para o sistema da divisória de madeira 54
Figura 59 Tensão de Von Mises 55
Figura 60 Campo de deslocamentos 55
Figura 61 Fator de segurança 56
Figura 62 Malha para a porta dos armários de teto esquerdo e direito 57
Figura 63 Tensão de Von Mises 58
Figura 64 Campo de deslocamentos 58
Figura 65 Fator de segurança 58
Figura 66 Reforço de chaparia modificado 59
Figura 67 Malha para os componentes do novo sistema de reforços do charriot 60
Figura 68 Tensão de Von Mises 61
Figura 69 Campo de deslocamentos 61
Figura 70 Fator de segurança 61
Figura 71 Apresentação do novo reforço para o banco encosto de rebater fixo 62
Figura 72 Malha para os componentes do novo sistema banco encosto de rebater 63
Figura 73 Tensão de Von Mises 64
Figura 74 Campo de deslocamentos 64
Figura 75 Fator de segurança 64
Figura 76 Apresentação do novo arranjo do suporte de soros 65
Figura 77 Malha para os componentes do novo sistema do suporte de soros 65
Figura 78 Tensão de Von Mises 66
Figura 79 Campo de deslocamentos 66
Figura 80 Fator de segurança 67
Figura 81 Chão de madeira atual 68
Figura 82 Composição do novo chão de madeira 68
Figura 83 Montagem da nova madeira da divisória 69
Figura 84 Malha para a nova divisória de madeira 70
Figura 85 Tensão de Von Mises 71
Figura 86 Campo de deslocamentos 71
Figura 87 Fator de segurança 71
Figura 88 Malha para a nova porta do armário de teto esquerdo e direito 72
Figura 89 Tensão de Von Mises 73
Figura 90 Campo de deslocamentos 73
Figura 91 Fator de segurança 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Marcas de viaturas mais comummente transformadas na Auto Ribeiro 10
Tabela 2 Dispositivos médicos exigidos para Ambulâncias tipo B (Norma EN 1789, 2020) 18
Tabela 3 Soma total das médias dos pesos de chaparia para cada tipo de ambulância..... 32
Tabela 4 Indicador de peso médio das madeiras de carpintaria por tipo de ambulância (AR) 32
Tabela 5 Cálculo da massa total da viatura (AR) 33
Tabela 6 Propriedade dos materiais (Gavex, Valbopan)..... 45
Tabela 7 Parâmetros da malha para o conjunto do charriot..... 46
Tabela 8 Parâmetros da malha para o conjunto do banco encosto de rebater fixo 49
Tabela 9 Propriedade do material (Vinco)..... 52
Tabela 10 Parâmetros da malha para o conjunto do suporte de soros 52
Tabela 11 Propriedades do MDF (Silva S. A. M., et. al., / Make It from) 54
Tabela 12 Parâmetros da malha para a divisória de madeira 55
Tabela 13 Propriedades mecânicas dos materiais (Dagol) 56
Tabela 14 Parâmetros da malha para a porta dos armários de teto esquerdo e direito 57
Tabela 15 Parâmetros da malha para o novo conjunto de reforços do charriot..... 60
Tabela 16 Parâmetros da malha para o novo conjunto de reforços do banco encosto de rebater fixo..... 63
Tabela 17 Parâmetros da malha para o novo conjunto do suporte de soros..... 66
Tabela 18 Densidade dos materiais utilizados no novo chão de madeira 69
Tabela 19 Parâmetros da malha para a nova divisória de madeira..... 70
Tabela 20 Parâmetros da malha para a nova porta do armário de teto esquerdo e direito . 72
Tabela 21 Tabela comparativa dos pesos 75

NOMENCLATURAS

AR – Auto Ribeiro, Lda

DEP – Departamento Técnico

EEC – European Economic Community

EN – European Norm

IAPMEI - Agência para a Competitividade e Inovação

MDF – Medium Density Fibreboard

MEF – Método dos Elementos Finitos

SST – Saúde e Segurança no Trabalho

UE – União Europeia

VDTD - Veículo Dedicado ao Transporte de Doentes

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Segurança de estruturas veiculares

Quando pensamos na ideia básica de um projeto de estrutura veícular voltada para a área da segurança veícular, o ideal é sempre realizar um projeto que atenda os objetivos de cada zona do interior do veículo, onde a estrutura próxima aos passageiros tem o intuito de diminuir a quantidade de deformação e energia dissipada do habitáculo, para reduzir as lesões nos ocupantes, já outras zonas tem o objetivo contrário, a fim de obter uma maior deformação e assim melhorar o amortecimento. Geralmente, isto é feito através do desenvolvimento de regiões estruturais que absorvem a energia de impacto do lado de fora do compartimento dos ocupantes, tais regiões são chamadas de zonas de colapso, pois estas entram em colapso de forma programada a partir de determinadas cargas, para prover uma absorção de energia e desaceleração apropriada (Matsumoto, 2010).

Essas zonas de colapso ocorrem devido ao amassamento e dobra de componentes da estrutura como longarinas e vigas de impacto. Enquanto isso, os passageiros são protegidos dentro do veículo por sistemas passivos, como *airbag* e os cintos de segurança.

Muitas pesquisas já foram realizadas durante anos com o objetivo de desenvolver e integrar vários sistemas que promovem a segurança e bem-estar dos condutores e passageiros e que, cada vez mais, têm revelado resultados bastante satisfatórios e salvo imensas vidas.

Reforços são utilizados com o objetivo de absorver a energia de algum impacto. A aplicação do reforço visando evitar uma falha localizada é utilizada tipicamente em regiões das colunas, travessas laterais e do teto, assim como outras regiões que possam apresentar falhas com padrão de dobras (Matsumoto, 2010).

Para o desenvolvimento e transformações de ambulâncias, também é uma prioridade, atender sempre a todos os critérios de segurança para todos os profissionais de saúde que trabalham dentro da viatura, como também para o utente que precisa de atendimento.

Hoje, com a tecnologia evoluindo cada vez mais e a necessidade de se ter cada vez mais equipamentos de saúde e itens obrigatórios por norma dentro da ambulância para o atendimento, é necessário ter sempre uma estrutura sólida para acomodar todos os itens obrigatórios exigidos.

Os setores de carpintaria e chaparia são os responsáveis por garantir que essa estrutura interna da ambulância tenha a capacidade de acomodar todos os itens médicos e também todos os bancos e macas que serão instalados; contudo um dos grandes desafios encontrados é garantir que a viatura tenha também o peso ideal de transporte.

Com a evolução da simulação computacional através do método dos elementos finitos, é possível projetar quais os materiais que devem ser implementados nos projetos de carpintaria e de chaparia e evitar assim grandes desperdícios ou excesso de material desnecessário, sendo possível definir a melhor opção de material e aplicar comparações, juntamente também com a espessura e quantidade de material necessário para atender as exigências estáticas do projeto.

Para este nosso estudo, não será realizada uma avaliação estrutural da viatura em si. O objetivo principal é a análise dos itens de carpintaria e chaparia que são instalados pela Auto

Ribeiro, Lda. (AR) para garantir os reforços de fixação dos armários, bancos, garrafas de oxigénio, estrados, macas ou *charriots*.

1.2 Introdução ao método dos elementos finitos

Atualmente, grande parte dos problemas de engenharia pode ser formulado através dos princípios gerais da mecânica dos meios contínuos (Malvern, L. E.,1969,), (Lai, W. M.,1993). A primeira etapa no processo de modelagem computacional de um fenómeno físico consiste na identificação dos fatores que influenciam de maneira relevante o problema. Isto implica na escolha adequada dos princípios físicos e das variáveis dependentes e independentes que descrevem o problema, resultando em um modelo matemático constituído por um conjunto de equações diferenciais.

A segunda etapa do processo consiste em obter a solução do modelo matemático, tarefa esta atribuída aos métodos numéricos. O método dos elementos finitos (MEF) teve suas origens na análise estrutural. Com o surgimento dos primeiros computadores digitais no início da década de 50, os métodos matriciais para a análise estrutural tiveram um grande desenvolvimento. As primeiras aplicações envolviam apenas estruturas reticuladas, mas a crescente demanda por estruturas mais leves, tais como as encontradas na indústria aeronáutica, automobilística, dentre outras, conduziu ao desenvolvimento de métodos numéricos que podem ser utilizados nas análises de problemas mais complexos.

A generalização de meios de cálculo automático potentes tem possibilitado o recurso cada vez mais frequente ao Método dos Elementos Finitos, dado o carácter aproximado das soluções fornecidas por este método (Pereira, O., 2005).

Tendo em vista como ponto crucial para um projeto, a segurança, conforto e o custo planeados, devem ser levados em consideração diversos parâmetros. Para se ter a confiabilidade necessária do sistema e assim reduzir tempo, material e custos para as empresas, a análise computacional através de um estudo estático dos reforços através dos elementos finitos, vem crescendo cada vez mais. Com um projeto deste tipo, é possível verificar se a quantidade de material utilizado satisfaz as necessidades que são exigidas pela norma.

A utilização destes programas dá uma aproximação à realidade do comportamento da estrutura, como se esta fosse construída e carregada verdadeiramente (modelos virtuais). Com a utilização deste tipo de programas temos então a possibilidade de executar uma fase de experimentação (testes), que só seria possível realizar em ambiente industrial e com a construção de protótipos, o que se tornaria mais dispendioso em termos monetários e de matéria-prima.

Para uma análise do comportamento estrutural estático e dinâmico é necessário definir inicialmente à partida, a geometria dos elementos a serem estudados e suas condições de fronteira, e, posteriormente, pode iniciar-se as simulações computacionais. O *software* utilizado neste estudo e apresentado nesta dissertação é o *SolidWorks*, que sendo um software de CAD, apresenta algumas capacidades de CAE, permitindo avaliar as tensões, deformações e coeficiente de segurança sob determinadas condições fronteira. Nesta etapa é determinada a viabilidade de utilização de cada elemento de acordo com seus objetivos estruturais.

Para a determinação das condições de fronteira que serão aplicadas ao sistema, será feito um levantamento das normas determinantes para uma avaliação das condições em que serão realmente condicionadas cada elemento e assim será possível validar o estudo para cada sistema analisado.

1.3 Importância das simulações computacionais na indústria

A aparente sub-utilização de simulação em processos de produção pelas produtoras de bens e serviços, tanto por organizações de grande porte como pelas micro-indústrias, é uma situação que pode ser muito prejudicial para seu desenvolvimento futuro (Stamm H., 1998).

Esta deficiência reduz a capacidade competitiva na atual era global, quando as mudanças de produtos e processos são muito mais intensas que antes, exigindo um amplo domínio de técnicas para avaliar as consequências das alterações exigidas pelo mercado.

Caso seja identificada qualquer deficiência, a solução desta é necessária para que as organizações regionais de todos os portes possam assumir e manter uma posição competitiva global, indispensável para sua sobrevivência futura.

Na falta de recursos tecnológicos para considerar adequadamente as influências e os resultados acumulados de causas aleatórias, o projetista lança mão de fatores para imprevistos, derivados de “experiência passada”, com alto risco de erro, porque o futuro será muito diferente. Isto porque novos produtos e novos processos trazem continuamente novos desafios que dificultam as previsões de desvios entre o padrão esperado e alcançado e com isso pode elevar-se o custo e material utilizado para um determinado projeto (Stamm H., 1998).

Simulações podem ser realizadas por meio de *softwares* específicos, capta os dados da produção e das normas implementadas e são feitas análises das variáveis que são necessárias para avaliar a confiabilidade do sistema implementado. Juntos, os indicadores conseguem apontar onde estão as dificuldades e problemas da produção e o que poderia ser feito para solucioná-los (Pederneiras G., 2019).

A efetividade da simulação depende da quantidade e qualidade dos dados que alimentam os sistemas. Por isso, para implementar esta metodologia, a fábrica precisa já ter uma estrutura de dados organizada, onde é possível ter acesso aos materiais, equipamentos e métodos utilizados, para ser possível analisar a integração entre os fatores e assim simular as melhorias.

O processo de simulação acontece da seguinte forma:

- **Definição de problema:** O primeiro passo é saber o que precisa ser aprimorado dentro do processo fabril. Para isso, pode analisar-se o sistema, identificar os problemas e dificuldades, as variáveis que ele envolve e as possibilidades de solução.
- **Validação:** Depois, é preciso optar por uma das soluções e efetuar novas simulações dentro do sistema para determinar se esta é a melhor opção para resolver a necessidade inicial.
- **Melhoria:** Olhar para soluções internas da fábrica e para o que outras indústrias estão a fazer também ajuda a validar o processo. Além disso, essa prática ainda contribui para aprimorar a solução encontrada.
- **Implementação:** Com todas as informações em mãos e resultados positivos provenientes das simulações feitas no *software*, é possível implementar as melhorias.
- **Monitorização:** Por último, é preciso monitorizar os resultados da melhoria para continuar a incrementá-la de acordo com as necessidades da indústria.

1.4 A empresa Auto Ribeiro

A Auto Ribeiro Lda. (AR) é uma empresa de capital português, localizada em Canelas, Vila Nova de Gaia, fundada pelo empresário António Ribeiro em 1976, dedicando-se à indústria de transformação automóvel com enfoque na modificação de carroçarias para ambulâncias, viaturas blindadas, minibus, entre outros.

Inicialmente, a empresa funcionava num espaço de 300 m^2, mas devido ao seu crescimento, foi forçada a expandir para um espaço fabril da ordem dos 1000 m^2. Inicialmente dedicada à transformação de carros fúnebres, numa decisão que se tornou crucial para o futuro próspero da empresa, António Ribeiro decidiu alterar a raiz do negócio, assumindo uma vertente de cariz industrial. Desta forma, nasceu a área de negócio de transformação de ambulâncias (socorro e transporte de doentes), viaturas de transporte de valores e viaturas celulares.

Em 1998, iniciou o seu processo de internacionalização, enviando viaturas de transporte de valores para Espanha. Com crescente expansão para o mercado externo, a implantação da empresa também cresceu, registando-se hoje, um espaço de 30 000 m^2 de área total (ver **Figura 1**).

Este crescimento da empresa, valeu o primeiro lugar do ranking entre 1997 e 1999, da Melhor Pequena e Média empresa no setor do Equipamento e Transportes, atribuído pelo IAPMEI, I.P. - Agência para a Competitividade e Inovação. O IAPMEI é um parceiro estratégico público de apoio às micro, pequenas e médias empresas dos setores industrial, comercial, de serviços e construção. Este instituto, criado em 1975, promove o crescimento empresarial através de várias iniciativas e estratégias de crescimento e internacionalização. A sua Certificação de Qualidade chegou em 2001 para a Auto Ribeiro Lda., com a atribuição do Certificado de Conformidade na “Transformação de Viaturas, Construção de Carroçarias e Fabrico de equipamentos e Acessórios”.

Também são produzidos nesta unidade vários tipos de equipamentos da Auto Ribeiro, Lda., desde macas e carrinhos para maca e monoblocos, com vários modelos disponíveis. Estes equipamentos são os que representam grande parte da produção atual.

Hoje, a AR é líder nacional no mercado de transformação de carroçarias e detém uma posição firme no mercado europeu na área das ambulâncias. A empresa aposta fortemente no desenvolvimento de novos produtos, tendo sempre em conta o alto grau de inovação e elevada qualidade de profissionais.

Figura 1 *Unidade Auto Ribeiro (AR)*

1.5 Explicação do problema

Atualmente o Departamento Técnico da AR enfrenta dificuldades para reduzir o peso das transformações fabricadas, onde para o desenvolvimento de uma viatura desta envergadura englobará o cumprimento de vários requisitos, sendo a sua grande maioria exigidos por lei, através de normalização aplicável e decretos-lei em vigor.

Grande parte da transformação estará então limitada ao permitido atualmente na lei, tendo a entidade transformadora que ser conhecedora de tais limitações, uma vez que se selecionará uma empresa conceituada no ramo.

De um modo geral, foi selecionada para o presente estudo uma viatura ambulância do tipo B, Modelo Mercedes-Benz Sprinter, com dimensões L2H2 e Tração traseira.

Pretende-se estudar a transformação do veículo para reduzir o peso excessivo. Recorrendo a ferramentas de simulação será preciso a realização de um estudo para reduzir peso, tanto de reforços de chaparia como a nível de carpintaria, que é adicionado ao carro para a transformação.

De uma maneira resumida, alguns dos requisitos que devem ser considerados para o estudo, para que esta transformação seja aceitável são:

- Não ultrapassar o peso bruto de 3500 kg, uma vez que se tratará de uma viatura ligeira;
- Ter uma lotação máxima de 5 lugares, contabilizando o condutor;
- Deverá ter pontos de fixação devidamente concebidos para todos os ocupantes;
- Oferecer aos passageiros a comodidade e conforto necessário;
- Todo o interior da viatura não poderá apresentar arestas vivas nem obstáculos suscetíveis a provocar acidente;
- Não poderão existir objetos soltos no habitáculo, de forma a não colidirem com os ocupantes em caso de travagem ou acidente; e
- Garantir que toda a estrutura interna que é instalada para a transformação da ambulância seja segura e resistente para uma situação de travagem ou acidente, até ao nível máximo de tensão, considerado pelos procedimentos da norma EN 1789 para o *Crash Test*.

Para atender os requisitos descritos acima, será preciso realizar um estudo de toda a estrutura interna montada pela AR, chaparia e carpintaria, e assim garantir que será entregue uma transformação confiável, segura e dentro do peso para a realização das atividades designadas.

1.6 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é analisar, desenvolver e modificar o modelo de viatura ambulância descrita anteriormente para o transporte de doentes que necessitam de um suporte básico de vida durante o transporte, a fim de atender aos requisitos de segurança, conforto e peso.

Neste trabalho pretende-se então estudar toda a estrutura interna da ambulância e materiais aplicados para cada tipo de reforço e itens de carpintaria, com a intenção de desenvolver novas soluções tanto geométricas como a nível de materiais alternativos.

Para isso, será necessário analisar o fator de segurança exigido por norma de todos os itens e entender de forma concisa quais os esforços que serão aplicados em uma situação de *solicitação* adotada pela norma, a fim de garantir que a viatura atinja um nível de segurança mais elevado e oferecer aos passageiros uma maior mobilidade e uma melhor qualidade de vida.

Um outro objetivo deste trabalho será avaliar a transformação protótipo desenvolvida com os materiais e sistemas disponíveis e assim poder elaborar de maneira comparativa o quanto foi reduzido em peso e melhorado a nível do fator de segurança do novo sistema instalado.

Pretende-se, de um modo geral obter uma viatura que seja devidamente modificada para o transporte de doentes e que garanta a mesma funcionalidade e requisitos exigidos pelo cliente para este tipo de transformação e garanta um nível apurado de confiabilidade a viatura.

1.7 Estrutura e organização da dissertação

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO – Uma breve apresentação da importância das estruturas veículares, simulação computacional na indústria, método de elementos finitos, e os objetivos deste trabalho, como também uma apresentação da empresa Auto Ribeiro e o problema que será estudado.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – uma apresentação da revisão bibliográfica, onde para o leitor será apresentado um breve histórico sobre a origem das ambulâncias, os tipos e modelos que são utilizados atualmente e também os conceitos básicos e fundamentais dos métodos dos elementos finitos, com a apresentação das equações que fazem parte para a resolução do método e a importância do refinamento da malha para a obtenção da convergência com a realidade.

CAPÍTULO 3: NORMAS APLICADAS A VALIDAÇÃO DE AMBULÂNCIAS E ANÁLISE DE CRASH TEST – Realizada uma apresentação das normas para a utilização dos dispositivos médicos instalados nas ambulâncias, juntamente com os valores necessários para a avaliação da medição da massa que será utilizada na ambulância, como também a explicação da avaliação da integridade dos sistemas ou componentes aplicados a ambulância e por fim como é realizado o teste pratico do *crash test*.

CAPÍTULO 4: AVALIAÇÃO DE CASO – Será apresentado os indicadores de chaparia e carpintaria para a distribuição de peso para cada setor dentro dos diversos tipos de ambulância fabricadas pela AR, a apresentação do layout da transformação que será estudada neste projeto, também será apresentada a seleção dos sistemas críticos de peso da chaparia e carpintaria para a realização do estudo de redução de peso e por fim também será apresentado o diagrama de forças para a simulação computacional de cada item.

CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS – Neste capítulo serão realizadas as simulações computacionais dos sistemas críticos atualmente utilizados nas ambulâncias, com a apresentação das tensões, deslocamentos e fator de segurança para cada sistema e por fim a apresentação das soluções alternativas encontradas para sanar o problema do peso excessivo calculado na ambulância protótipo que será estudada, para assim garantir a integridade dos sistemas e deixa-lo o mais leve possível.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO – As Conclusões são apresentadas referentes aos resultados obtidos no capítulo anterior.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico

Condições de risco para a vida das pessoas sempre existiram e junto com esses riscos, pelo instinto de preservação da vida, o ser humano teve a preocupação de buscar o mais precocemente possível, um suporte para manter as condições vitais do indivíduo.

Por volta de 1487, Isabel I, apelidada de “Isabel, a Católica” e rainha de Castela e Leão, autoriza a construção de vagões com camas especiais com toldos para transportar soldados feridos para tendas onde eles receberiam os cuidados específicos. Não se sabe ao certo. O fato é que há menções a certos tipos de “ambulâncias” desde os tempos bíblicos.

A palavra em si é proveniente da palavra latina *ambulare*, que significa “andar” ou “mover-se”. Afirma-se que o termo “ambulância” foi criado pelos Reis católicos da Espanha, Fernando e Isabel, no final do século XV. (Pompeo G., 2020).

O socorro sistematizado emergencial prestado às vítimas de situações críticas teve suas bases alicerçadas durante a guerra civil americana, onde eram perdidas muitas vidas, principalmente de soldados, por falta de atendimento imediato. Foi identificada a necessidade de providências para agilizar o atendimento às vítimas ainda no campo de batalha. Alguns conceitos como segurança da cena (evitar tornar-se mais uma vítima, evitar a ocorrência de novas vítimas), exame primário (tratamento das lesões em risco de vida, evitar mais dano) e a própria questão do transporte rápido (para o local de tratamento definitivo), são oriundos dessa época (National Association of Emergency Medical Technicians , 2004).

Tecnicamente, o marco da criação da ambulância projetada deve-se ao médico Dominique Jean Larrey (1766– 1842), considerado “Pai da Medicina Militar”. Como cirurgião do exército napoleônico, identificou a necessidade de resgatar os feridos não apenas após o término do conflito, mas ainda durante a batalha. Larrey, necessitando estabelecer atendimento imediato, projetou Unidades de Transporte de feridos, que batizou como “ambulâncias voadoras”, pois tinham como características serem leves e velozes. O aumento da velocidade deu-se pelo uso, inicialmente, de dois cavalos lado a lado e posteriormente perfilados, bem como madeira leve, rodas pequenas e teto arredondado para evitar retenção de água na madeira durante a chuva (Ferrari D., 2006), conforme ilustrado na **Figura 2 a)**).

Com os avanços tecnológicos e o sucesso que a utilização das ambulâncias veio a ganhar, o conceito, como o que temos hoje, pode dizer-se que possui bastante das raízes na antiguidade, utilizando-se macas e redes, entre outros. Contudo evoluiu-se bastante no que se diz respeito ao objetivo de utilização da mesma, onde anteriormente tinha apenas a função de transportar o doente até ao local de atendimento e nos dias de hoje pode-se ser atendido dentro da mesma, com a utilização de diversos equipamentos e profissionais capazes de garantir uma melhor resposta ao tratamento do doente (ver **Figura 2 b)**).

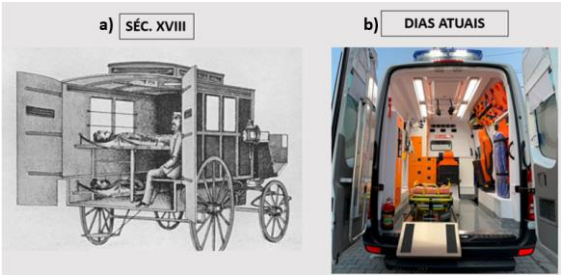


Figura 2 *Ambulância a) antigas b) atual (Nunes P, 2015; Medical Expo)*

2.2 Tipos de ambulância e transformação

Atualmente, entende-se por "ambulância" todo o veículo tripulado por, no mínimo, dois elementos habilitados para a prestação de cuidados, e destinado ao transporte de, pelo menos, um doente em maca, logo o "Veículo dedicado ao transporte de doentes" (VDTD) é todo o veículo ligeiro, destinado ao transporte de doentes cuja situação clínica não impõe, previsivelmente, a necessidade de cuidados de saúde durante o transporte.

O transporte de doentes por via terrestre pode ser efetuado com os seguintes tipos de ambulância:

Tipo A (Ambulância de transporte de doentes) - É uma ambulância concebida e equipada para o transporte de doentes cuja situação clínica não faz prever risco instalado, ou iminente, de falência de funções vitais, que podem ser dos seguintes tipos:

Tipo A1 (Ambulância de transporte individual): Destinada ao transporte de um doente em maca, banco ou cadeira de rodas, e de um acompanhante, como pode ser observado na **Figura 3**;

Figura 3 *Ambulância tipo A1 (AR)*

Tipo A2 (Ambulância de transporte múltiplo) - Destinada ao transporte de um ou mais doentes em maca(s), banco(s) e/ou cadeira(s) de rodas, e do(s) seu(s) acompanhante (s), como pode ser observado na **Figura 4**.

Figura 4 *Ambulância tipo A2 (AR)*

Tipo B (Ambulância de emergência) - É uma ambulância concebida e equipada para o transporte e prestação de cuidados de emergência médica a doentes urgentes e emergentes; como pode ser observado na **Figura 5**.

Figura 5 *Ambulância tipo B (AR)*

Tipo C (Ambulância de cuidados intensivos) - É uma ambulância concebida e equipada para o transporte não urgente com prestação de cuidados de suporte avançado de vida a doentes cuja sobrevivência, por disfunção ou falência profunda de um ou mais órgãos ou sistemas, depende de meios avançados de monitorização e terapêutica, na **Figura 6** podemos observar a ambulância tipo C.

Figura 6 *Ambulância tipo C (AR)*

Também é necessário definir qual a marca de viatura que será submetida a transformação, onde na Auto Ribeiro as marcas utilizadas podem ser vistas na **Tabela 1**. Não existe uma marca específica para cada tipo de transformação, ou seja, o cliente pode escolher a marca da viatura e determinar qual o tipo de transformação que deseja.

Tabela 1 *Marcas de viaturas mais comummente transformadas na Auto Ribeiro*

Mercedes-Benz	Fiat	Ford	Renault	MAN	Volkswagen

Citroen	Peugeot	Toyota	Opel

A determinação do tamanho da viatura também é bastante importante, onde a classificação é determinada da seguinte maneira:

Figura 7 *Classificação dimensional das ambulâncias*

Cada marca de viatura possui um nível de comprimento, como podemos ver na **Figura 7**, onde, (L – *lenght*) e altura (H – *height*) da ambulância, onde inicia-se pelo nível 1 até um determinado nível especificado para cada modelo, exemplo: L3H2.

Para se ter acesso aos tamanhos exatos do comprimento e altura de cada modelo, é necessário aceder à ficha técnica de cada marca, empresa e modelo de viatura, onde para diferentes viaturas elas podem apresentar a mesma classificação dimensional, contudo comprimentos e alturas com tamanhos diferentes, mas na grande maioria elas apresentam valores próximos.

Também é muito importante para a determinação da transformação qual a tração da viatura em que será realizada a modificação, pois para diferentes trações as dimensões internas do carro são diferentes.

Obtendo-se as variáveis acima descritas e a atender os requisitos dentro daquilo que a norma EN 1789 permite, o cliente tem a liberdade da escolha de quantos bancos serão instalados dentro da viatura, o modelo de maca, estrado ou *Charriots*, quais acessórios internos, ar-condicionado, entre outros.

Todas as variáveis acima descritas são importantíssimas para assim determinar e classificar o tipo de transformação que será entregue para o cliente e assim realizar um projeto que atenda a todos os requisitos de segurança, higienização e conforto exigidos pela norma.

2.3 Introdução ao método dos elementos finitos

Em termos gerais da funcionalidade do método dos elementos finitos (MEF), é possível listar os principais passos do procedimento de solução descritos (Nikishkov, 2004).

1. Discretização de um meio contínuo: O primeiro passo é dividir uma região de solução em elementos finitos. A malha de elementos finitos é normalmente gerada por um programa de pré-processador. A descrição da malha consiste em vários *arrays* principais dos quais são as coordenadas nodais e as conectividades dos elementos.

2. Seleção das funções de interpolação: As funções de interpolação são usadas para interpolar as variáveis de campo sobre o elemento. Muitas vezes, os polinómios são selecionados como funções de interpolação. O grau do polinómio depende do número de nós atribuídos ao elemento.

3. Determinação das propriedades do elemento: A equação matricial para o elemento finito deve ser estabelecida relacionando os valores nodais da função desconhecida com outros parâmetros. Para esta tarefa, diferentes abordagens podem ser usadas; os mais comuns são: a abordagem variacional e o método de Galerkin.

4. Montagem das equações dos elementos: Para encontrar o sistema de equações global para toda a região da solução, devemos montar todas as equações dos elementos. Em outras palavras, devemos combinar equações de elementos locais para todos os elementos usados para discretização. Conectividades de elemento são usadas para o processo de montagem. Antes da solução, as condições de fronteira (que não são consideradas nas equações dos elementos) devem ser impostas.

5. Resolução do sistema de equações globais: O sistema de equações globais de elementos finitos é tipicamente esparso, simétrico e definido positivo, como pode ser visto na **Figura 8**. Métodos diretos e iterativos podem ser usados para solução. Os valores nodais da função procurada são produzidos como resultado da solução.

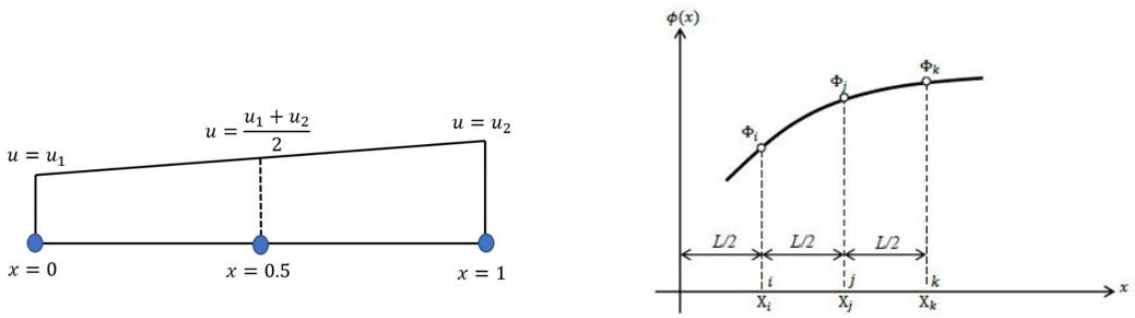


Figura 8 *Elementos unidimensionais e interpolação de função (Shrama, 2020)*

6. Cálculo dos resultados adicionais: Em muitos casos, é preciso calcular parâmetros adicionais. Por exemplo, em problemas mecânicos, deformações e tensões são de interesse além dos deslocamentos, que são obtidos após a solução do sistema de equações globais. (Nikishkov, 2004)

2.3.1 MEF para os problemas de mecânica dos sólidos

A análise de um sistema mecânico para um corpo elástico tridimensional submetido a forças de superfície, considera os deslocamentos especificados em alguma área de superfície. Para dada geometria do corpo, cargas aplicadas, condições de fronteira de deslocamento, campo de temperatura e lei de tensão-deformação do material, é necessário determinar o campo de deslocamento para o corpo, as deformações e as tensões correspondentes.

Os deslocamentos ao longo dos eixos coordenados x, y e z são definidos pelo vetor de deslocamento $\{u\}$:

$$\{u\}^T = \{u \quad v \quad w\} \tag{1}$$

Seis componentes de deformação diferentes podem ser colocados no vetor de deformação $\{\varepsilon\}$.

$$\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \gamma_{xy} \quad \gamma_{yz} \quad \gamma_{zx}\} \tag{2}$$

Para pequenas deformações, a relação entre deformações e deslocamentos é:

$$\{\varepsilon\} = [D]\{u\} \tag{3}$$

onde $[D]$ representa o operador de diferenciação de matrizes:

$$[D] = \begin{bmatrix} \partial/\partial x & 0 & 0 \\ 0 & \partial/\partial y & 0 \\ 0 & 0 & \partial/\partial z \\ \partial/\partial y & \partial/\partial x & 0 \\ 0 & \partial/\partial z & \partial/\partial y \\ \partial/\partial z & 0 & \partial/\partial x \end{bmatrix} \tag{4}$$

Seis componentes de tensão diferentes são formados no tensor de tensão $\{\sigma\}$:

$$\{\sigma\} = \{\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{zx}\} \tag{5}$$

que estão relacionadas com as deformações para o corpo elástico pela lei de Hook

$$\begin{gathered} \{\sigma\} = [E]\{\varepsilon^e\} = [E](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon^t\}) \\ \{\varepsilon^t\} = \{\alpha T \quad \alpha T \quad \alpha T \quad 0 \quad 0 \quad 0\} \end{gathered} \tag{6}$$

onde $\{\varepsilon^e\}$ representa a parte elástica da deformação, $\{\varepsilon^t\}$ é a parte térmica da deformação, α é o coeficiente térmico de expansão, T é a temperatura.

A matriz de elasticidade $[E]$ tem a seguinte aparência:

$$[E] = \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda + 2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \tag{7}$$

Onde λ e μ são constantes elásticas que podem ser expressas através do módulo de elasticidade E e razão de Poisson ν:

$$\lambda = \frac{vE}{(1+v)(1-2v)} \tag{8 a}$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+v)} \tag{8 b}$$

O objetivo da solução de elementos finitos para o problema elástico é encontrar o campo de deslocamento que forneça o mínimo para uma energia potencial total Π:

$$\Pi = \int_V \frac{1}{2}\{\varepsilon^e\}^T\{\sigma\}dv - \int_V \{u\}^T\{p^V\}dV - \int_S \{u\}^T\{p^s\}dS \tag{9}$$

Portanto, $\{p^V\} = \{p_x^V \quad p_y^V \quad p_z^V\}$ representa o vetor de volume atuante no corpo e $\{p^s\} = \{p_x^S \quad p_y^S \quad p_z^S\}$ é o vetor da força na superfície. As prescrições dos deslocamentos são especificadas na parte da superfície do corpo onde as forças de superfície estão ausentes.

Os deslocamentos das condições de fronteira não estão presentes na energia potencial Π. Por este motivo, os deslocamentos das condições de fronteira devem ser implementados depois da montagem das equações dos elementos finitos.

Para as equações dos elementos finitos, podemos considerar algum elemento finito tridimensional, obtendo o vetor de deslocamento nodal, representado por $\{q\}$:

$$\{q\}^T = \{u_1 \quad v_1 \quad w_1 \quad u_2 \quad v_2 \quad w_2 \quad ...\} \tag{10}$$

Deslocamentos em algum ponto dentro de um elemento finito $\{u\}$ podem ser determinados com o uso de deslocamentos nodais $\{q\}$ e funções de forma N_i:

$$\begin{aligned} u &= \sum N_i u_i \\ v &= \sum N_i v_i \\ w &= \sum N_i w_i \end{aligned} \tag{11}$$

Tais relações podem ser escritas em forma matricial, como demonstrada a seguir:

$$\{u\} = [N]\{q\}$$
$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & \dots \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & \dots \end{bmatrix} \quad (12)$$

onde $[N]$ é constituída por blocos do tipo $N_i[I_3]$, sendo I_3 a matriz identidade de ordem 3. O componente de deformação pode também ser determinado através de deslocamentos dos pontos nodais:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{q\}$$
$$[B] = [D][N] = [B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad \dots] \quad (13)$$

A matriz $[B]$ é denominada de matriz de diferenciação de deslocamento. Também pode ser obtida por diferenciação do deslocamento expresso através de função de forma e deslocamento nodais:

$$[B_i] = \begin{bmatrix} \partial N_i/\partial x & 0 & 0 \\ 0 & \partial N_i/\partial y & 0 \\ 0 & 0 & \partial N_i/\partial z \\ \partial N_i/\partial y & \partial N_i/\partial x & 0 \\ 0 & \partial N_i/\partial z & \partial N_i/\partial y \\ \partial N_i/\partial z & 0 & \partial N_i/\partial x \end{bmatrix} \quad (14)$$

A utilizar relações para tensões e deformações, podemos expressar a energia potencial total por meio de deslocamentos nodais.

$$\Pi = \int_V \frac{1}{2}([B]\{q\} - \{\varepsilon^t\})^T [E]([B]\{q\} - \{\varepsilon^t\}) dV - \int_V ([N]\{q\})^T \{p^V\}) \, dV - \int_S ([N]\{q\})^T \{p^S\}) \, dS \quad (15)$$

Os deslocamentos nodais $\{q\}$ que correspondem a energia potencial total Π pode ser determinada pelas seguintes condições:

$$\left\{\frac{\partial \Pi}{\partial q}\right\} = 0 \quad (16)$$

A diferenciação de Π em ordem aos deslocamentos nodais de $\{q\}$, produzem as seguintes equações de equilíbrio para um elemento finito:

$$\int_V [B]^T [E][B]dV\{q\} - \int_V [B]^T [E]\{\varepsilon^t\}dV - \int_V [N]^T \{p^V\}dV - \int_S [N]^T \{p^S\}dS = 0 \quad (17)$$

No qual é normalmente apresentada da seguinte forma:

$$[k]\{q\} = \{f\}$$
$$\{f\} = \{p\} + \{h\}$$

$$[k] = \int_V [B]^T [E][B]dV \quad (18)$$
$$\{p\} = \int_V [N]^T \{p^V\}dV + \int_S [N]^T \{p^S\}dS$$
$$\{h\} = \int_V [B]^T [E]\{\varepsilon^t\}dV$$

onde $[k]$ representa a matriz de rigidez do elemento, $\{f\}$ é o vetor de carga, $\{p\}$ é o vetor das forças reais e $\{h\}$ é o vetor térmico que representa forças fictícias para a modelação da expansão térmica.

Contudo para o nosso estudo não iremos considerar que o fator da temperatura interfira a nível de deformação e determinação de forças para a simulação, logo as variáveis que dependam de alguma variação térmica não serão consideradas nos cálculos.

2.4 Geração da malha

Os modelos de elementos finitos para análise prática podem conter dezenas de milhares ou até mesmo centenas de milhares de graus de liberdade, não sendo possível criar essas malhas e realizar os cálculos manualmente. O gerador de malha é uma ferramenta de *software*, que divide o domínio da solução em muitos subdomínios. (Nikishkov, 2004).

À medida que o número de elementos de uma malha aumenta, a precisão da análise melhora em um processo chamado de convergência. Isso tem um grande efeito quando a resolução de algum modelo é necessária para se ter uma previsão em relação à realidade. A **Figura 9** a seguir, demonstra matematicamente esse tal efeito da convergência.

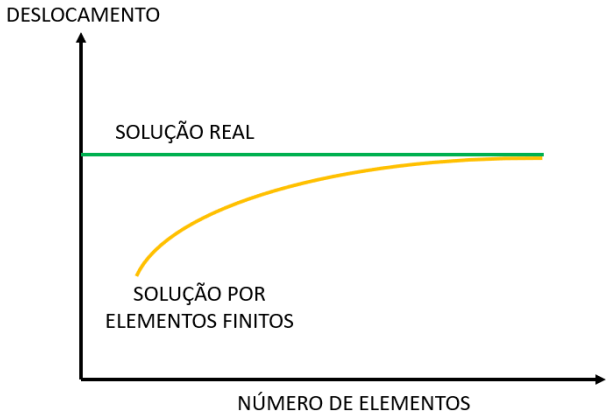


Figura 9 *Gráfico de convergência de malha (Hansen, 2020)*

Efeitos de convergência também podem ser observados em gráficos de contorno. Conforme visto na **Figura 10**, à medida que a malha é refinada, os elementos menores fornecem ao utilizador mais detalhes da distribuição de tensões nas áreas críticas, e os valores estão mais próximos dos valores teóricos obtidos por meio de cálculos.

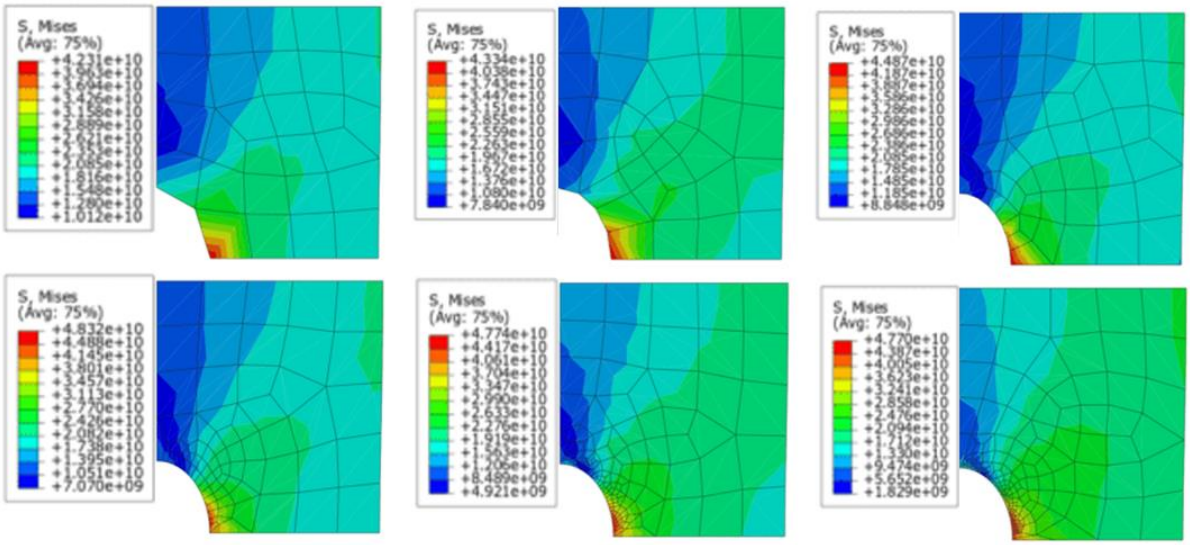


Figura 10 *Redução do erro com um melhor refinamento da malha (SimScale, 2017)*

Com a apresentação desta teoria, pode perguntar-se quanto as malhas devem ser refinadas para que alcancem um bom nível de convergência.

Embora o aumento do número de elementos proporcione benefícios em termos de melhoria da precisão, em contrapartida exige um maior poder computacional para a produção e cálculo da malha, podendo levar a tempos de execução elevados e tornando-se também um desperdício a nível da precisão para o estudo, portanto cabe ao projetista que realiza o estudo que deve considerar até que ponto o nível de detalhe para uma simulação deve ser adotado.

2.4.1 Forma do elemento de malha

Existem vários *softwares* que apresentam diversas soluções e características para a geração da malha, contudo neste trabalho será realizada a criação da malha através do *Software SolidWorks*, onde são utilizados elementos tetraédricos 3D, elementos de casca triangulares

2D e elementos de viga 1D. Elementos sólidos são naturalmente adequados para modelos volumosos, enquanto para elementos de casca são adequados naturalmente para modelagens de peças mais finas (chapas metálicas), e as vigas e treliças são adequados para modelagem de membros estruturais. Tendo em vista que as nossas simulações irão decorrer com geometrias 3D, o elemento na forma tetraédrica será o utilizado para a geração da malha.

Para um determinado tamanho de elemento, o elemento tetraédrico terá um volume menor, o que significa que mais elementos podem ser gerados para uma malha do mesmo componente. Os elementos tetraédricos são melhores para modelar geometrias mais complexas, pois sua ordem dentro da malha é mais flexível. De seguida, na **Figura 11** é possível visualizar de maneira mais clara como é representada a malha com este tipo de elemento.

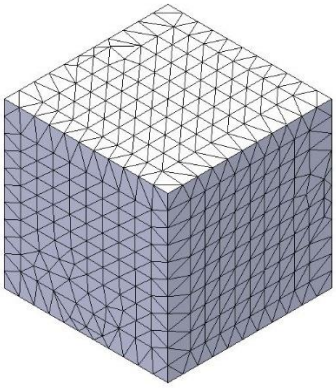


Figura 11 *Malha Tetraédrica em um cubo (Elaborada pelo autor).*

CAPÍTULO 3: NORMAS APLICADAS A VALIDAÇÃO DE AMBULÂNCIAS E ANÁLISE DE *CRASH TEST*

3.1 Requisitos regulamentares para dispositivos médicos

Atualmente, as indústrias dos setores de transformação e construção de automóveis vem cada vez mais implementado normativas e regulamentações que visam não só melhorar cada vez mais a segurança em seus projetos, mas também garantir um bem estar de utilização dos mesmos e para isso é importantíssimo a garantia de que todos os requisitos de segurança exigidos pela norma sejam aplicados a todos os projetos.

Os veículos são projetados para serem seguros e que atendam aos requisitos de projeto, podendo ser derivados da legislação europeia e nacional de segurança e saúde ocupacional.

De acordo com a legislação da UE, os empregadores são responsáveis por realizar uma avaliação de risco (89/391/EEC, diretiva-quadro de SST) e pelo fornecimento de equipamentos de trabalho seguros (89/655/EEC, diretiva de uso de equipamentos de trabalho) que permitem que os funcionários trabalhem sem que sua saúde esteja em risco.

Uma das normas regulamentadoras utilizadas para a avaliação de veículos médicos e seus equipamentos é a EN 1789, onde a mesma foi desenvolvida pela primeira vez no final da década de 1990 para definir uma abordagem comum aos requisitos para aumentar a segurança do paciente e da equipe.

O teste de veículos para fins especiais, como uma ambulância, é bastante complexo e apresenta múltiplas funções (por exemplo, fixações, sistemas de manutenção, ruído, iluminação, aquecimento, resfriamento etc.) a exigir a realização de vários testes, que podem ser destrutivos ou não.

De acordo com a norma EN 1789 será possível validar e detalhar como devem ser realizados os testes de resistência dos reforços e itens de carpintaria que devem ser instalados dentro da ambulância. Na secção 4.4 da norma EN 1789 é determinado os requisitos exigidos para o compartimento do paciente, onde o mesmo deve ser projetado e construído para acomodar os dispositivos médicos listados na **Tabela 2**, para a ambulância do tipo B, no qual realizaremos o estudo.

Tabela 2 *Dispositivos médicos exigidos para Ambulâncias tipo B (Norma EN 1789, 2020)*

	Nº	DISPOSITIVO	NORMA	QNT P/ TIPO B
Tipo de equipamento de manuseio do paciente	1	Maca Principal	EN 1865-1:2010+A1:2015 or EN 1865-2:2010 +A1:2015	1
	2	Maca Portátil	EN 1865-1:2010 +A1:2015	1
	3	Colchão a vácuo	EN 1865-1:2010 +A1:2015	1
	4	Dispositivo para transportar um paciente sentado	EN 1865-1:2010 +A1:2015 and EN 1865-4:2012	X

	5	Lençol de transporte ou colchão de transferência	EN 1865-1:2010 +A1:2015	1
	6	Prancha espinhal longa completa com imobilizador de cabeça e tiras de fixação	EN 1865-1:2010 +A1:2015	X
	7	cadeira de escada elétrica (b)		X
	a - A menos que a maca principal tenha a função desses dispositivos.			
	b - Alternativa para o nº 4.			

Tipo de equipamento de imobilização	1	Dispositivo de tração	-	X
	2	Imobilização, definida para fraturas, incluindo pélvica	-	1
	3	Dispositivos de imobilização da coluna cervical superior Conjunto de colar cervical	-	1
	4	Dispositivos de desencarceramento ou prancha espinhal curta com capacidade de imobilização	-	1

Tipo de equipamento de ventilação /respiração	1	Oxigénio estacionário (a) Mínimo de 2.000 l, (sob temperatura e pressão normais), medidor de vazão/manômetro com capacidade máxima de pelo menos 15 l/min e válvula reguladora	prEN ISO 9170-1:2017	conexão Normal 1 conexão rápida -1
	2	Oxigénio portátil b Mínimo 400 l, (sob temperatura e pressão normais), medidor de vazão/fluxo com capacidade máxima de pelo menos 15 l/min e válvula reguladora	prEN ISO 9170-1:2017	conexão Normal 1 conexão rápida -1
	3	Reanimador com entrada de oxigénio e máscaras e vias aéreas para todas as idades e reservatório de oxigénio	-	1
	4	Dispositivo de aspiração de instalação permanente ou portátil com pressão mínima de –65 kPa com capacidade mínima de 1 l	EN 60601-1:2006+A1:2013 EN ISO 10079-1:2015+A1:2019 EN ISO 10079-3:2014	1
	5	Dispositivo de sucção portátil	EN ISO 10079-2:2014	1
	6	Válvula de demanda	-	X
	a - Uma capacidade reduzida de 1 000 l pode ser instalada nas ambulâncias rodoviárias do tipo A1 e A2.			
	b - Uma capacidade reduzida de 200 l pode ser instalada em ambulâncias rodoviárias do tipo A1 e A2.			

Tipo de equipamento de diagnóstico	1	Monitor de pressão arterial manual, Tamanho do manguito 10 cm – 55 cm		1
	2	Monitor B P Automático a, Tamanho do manguito 10 cm – 55 cm para os tipos B e C, tamanho do manguito 35 cm – 55 cm para o tipo A Um tipo doppler deve operar com precisão nas condições de interferência elétrica e vibração especificadas em 4.2 e 6.3.4		1
	3	Oxímetro (a)		1
	4	Estetoscópio		1
	5	Termômetro		1
	6	Dispositivo para determinação de açúcar no sangue		1
	7	Luz de diagnóstico		1
	8	ECG de 12 derivações (a)		1
	a - Se desejado, duas ou mais dessas funções podem ser combinadas em um dispositivo.			

Tipo de droga	1	Medicação de acordo com a regulamentação nacional	-	X

Tipo de material ou equipamento de infusão	1	Soluções para infusão, litro		2
	2	Equipamento para injeções e infusões		2
	3	Sistema de infusão projetado para permitir a administração de fluido aquecido a (37 ± 2) °C. Este sistema não precisa ser portátil		1
	4	Montagem de infusão		2
	5	Dispositivo de infusão de pressão		1
	6	Compartimento refrigerado para armazenamento de soluções de infusão e medicamentos com volume total mínimo de 5 l e faixa de temperatura fixa de 5 °C a 7 °C		X

Tipo de equipamento para gerenciamento	1	Desfibrilador com ritmo e registro de dados do paciente	EN 60601-2-4:2011	1
	2	Monitor cardíaco	EN 60601-2-27:2014	1
	3	Estimulação cardíaca externa	EN 60601-2-4:2011	X

de problemas com risco de vida	4	Sistema portátil de cuidados com as vias aéreas (p.a.c.s.) ressuscitador manual Ventilador boca a máscara com entrada de oxigénio Vias aéreas oro ou nasofaríngeas Aspirador Cateter de sucção	-	1
	5	Aparelho de nebulização	EN 13544-1:2019	1
	6	Capnômetro ou capnografia	EN ISO 80601-2-55:2018	X
	7	Cardioversão		X
	8	Dispositivo portátil para aplicação CPAP não invasiva com monitoramento de pressão		X
	9	Dispositivos de compressão torácica		X
	Se desejado, duas ou mais dessas funções podem ser combinadas em um dispositivo.			

Bandagem e enfermagem	1	Equipamento de cama		1
	2	Cobertores		2
	3	Material para tratamento de feridas		1
	4	Material para tratamento de queimaduras e corrosivos		1
	5	Recipiente de replantio para manter a temperatura interna a (4 ± 2) °C por pelo menos 2 h		X
	6	Tigela de rim		1
	7	Bolsa de vômito		1
	8	Comadre		X
	9	Frasco de urina sem vidro		1
	10	Recipiente para objetos cortantes		1
	11	Luvas cirúrgicas estéreis, pares	EN 455-1:2020, EN 455-2:2015	5
	12	Luvas não estéreis	EN 455-1:2020, EN 455-2:2015	100
	13	Kit de entrega de emergência		1
	14	Saco de lixo		1
	15	Saco de lixo clínico		X
	16	Folha de maca não-tecidos		1
	17	Conjunto de alimentação para aplicações especiais, composto por: - Peneirar materiais - hemotípicos - torniquetes - Agulhas de alívio de pneumotórax - curativos pré-fabricados - Curativos oclusivos torácicos		X

Armazenamento de equipamentos de proteção individual (para cada membro da tripulação para proteção e identificação da tripulação como pessoal de ambulância rodoviária)3	1	Vestuário de proteção básico, incluindo jaqueta ou tabardo refletivo de alta visibilidade	EN ISO 20471:2013+A1:2016	1
	2	Desgaste de proteção avançada		X
	3	Luvas de segurança/detritos, pares	EN ISO 21420:2020-06	1
	4	Capacete de segurança	EN 443:2008	1
	5	Equipamento de proteção individual contra infecções		1
	6	Detectores de gás CO		X
	Os números são cotados por membro da tripulação.			

Material de resgate e proteção	1	Material de limpeza e desinfecção		1
	2	Ferramentas leves de resgate, conjunto		X
	3	Cortador de cinto de segurança		1
	4	Triângulo/luzes de advertência		2
	5	Holofote		1
	6	Extintor de incêndio	EN 3-7:2004+A1:2007	1

Portanto é importantíssimo obter uma estrutura sólida de carpintaria, onde todos os armários devem obter espaço para comportar todos os itens listados, como também estruturas de reforço de chaparia resistentes que garantam a segurança interna da ambulância.

3.2 Requisitos regulamentares para medição da massa

Dimensionar o peso total que se pode inserir dentro da ambulância é de suma importância, pois se a mesma estiver com uma carga muito elevada, pode-se correr riscos de acidentes onde a suspensão e equilíbrio do carro podem estar comprometidos e também favorece bastante para o aumento do consumo de combustível do automóvel, portanto devemos atender as exigências determinadas pelas normas, a fim de se calcular o peso que deve ser inserido na mesma.

Para a realização do cálculo do peso total que deve ser adicionada a ambulância primeiramente devemos identificar quais os requisitos mínimos exigidos pela norma, onde de acordo com a EN 1789, o REGULAMENTO (UE) No 1230/2012 DA COMISSÃO e EN 1865-5:2012, pode-se destacar os seguintes requisitos.

1. **Reserva de massa**: A reserva de massa mínima exigida para os dispositivos sanitários, médicos e técnicos listados na **Tabela 2** para as ambulâncias tipo B são de 225 kg.
2. **Massa por passageiro**: A massa representativa por cada passageiro deve ser de 75 kg.
3. **Massa de combustível**: O peso dos reservatórios de combustível devem estar cheios com o mínimo de 90% da sua capacidade, de acordo com a capacidade especificada pelo fabricante.
4. **Massa da maca e utente**: A massa representativa pela maca e o utente que será transportado na mesma deve ter o peso de 126 kg.

5. **Massa de sistema de retenção de infusão:** A ambulância B em questão apresenta um suporte com capacidade para 2 soros, contudo a norma determina que em cada lado seja carregado com uma massa de 5 Kg para um teste dinâmico e 7,5 Kg para um ensaio estático.

3.3 Requisitos regulamentares para o ensaio de integridade

Para atender a todos os requisitos de retenção e fixação de todas as pessoas e itens, por exemplo, os dispositivos, equipamentos e objetos médicos transportados na ambulância rodoviária devem ser retidos, instalados ou acondicionados para evitar que se transformem em projéteis quando submetidos a acelerações/desacelerações de 10 g nas direções para frente, para trás, esquerda, direita e vertical. Quando submetida a essas acelerações/desacelerações, a distância percorrida por uma pessoa ou objeto não deve colocar em risco a segurança das pessoas na ambulância rodoviária.

Depois de ser submetido a essas acelerações/desacelerações:

I. Nenhum item deve ter arestas vivas ou colocar em risco a segurança das pessoas na ambulância rodoviária;
II. a distância máxima que a maca e qualquer item preso ao conjunto de suporte ou maca podem percorrer não deve ser superior a 150 mm. O deslocamento do paciente durante o teste pode ultrapassar 150 mm.

Todos os armários, trilhos e locais de armazenamento não dedicados ou dispositivos de armazenamento devem ser rotulados para mostrar o peso total máximo permitido onde devem ser especificados pelo fabricante.

O teste deve ser realizado com o corpo de amostra (ambulância) em cada direção, demonstrada na **Figura 12**, onde cada direção representa um teste independente.

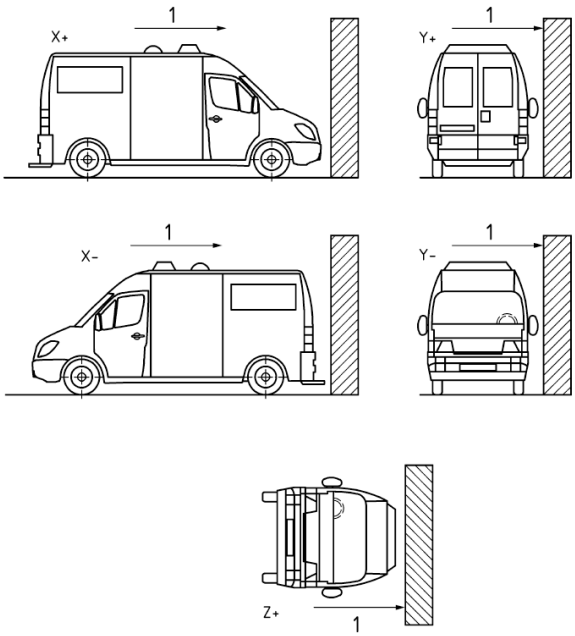


Figura 12 *Direção individual para cada teste (EN 1789)*

A configuração que é realizado o teste é definido com base no princípio do pior cenário, para limitar o número de testes. A massa máxima de ensaio para os dispositivos que serão qualificados, devem ser indicados por etiqueta e de forma visível.

O método de utilização no que diz respeito a fixação do veículo durante o ensaio não deve ser de molde a reforçar a carroceria ou a disposição do compartimento do paciente ou a diminuir a deformação normal da estrutura.

Para os testes dos móveis, o compartimento do paciente deve ser validado também a adotar o caso de pior condição, onde devem ser performados com sacos de areia com incrementos de pesos e de fácil remoção, sem a utilização de ferramentas, com uma tolerância de 0% a 10% para o peso máximo de cada carga do compartimento individualmente.

3.4 *Crash test*

Os testes de colisão (*crash test*) (ver **Figura 13**) são atividades que fazem parte das indústrias de automóveis a fim de garantir cada vez mais segurança em seu produto e cada vez mais vem sendo um dos principais requisitos no mundo afora para orientar a escolha do consumidor, ainda mais se tratando de ambulâncias onde apresentam um alto risco em seu uso, por se tratar de um veículo de emergência.

A colisão com automóveis contra outro veículo ou um diferente obstáculo é uma atividade que se faz na indústria há pelo menos 80 anos, como atestam registros de diversas marcas de automóveis, onde acredita-se que a montadora General Motors teria sido a pioneira nos Estados Unidos, em 1934. Contudo, apenas em 1979 que surgiu, também nos Estados Unidos, o primeiro programa governamental para analisar o comportamento dos carros em acidentes e o nível de proteção oferecido a seus ocupantes, promovido pela National Highway Traffic Safety Administration (administração nacional da segurança do trânsito em rodovias, NHTSA) (Samahá, 2015).

Os veículos são projetados para serem seguros. Os requisitos de projeto podem ser derivados da legislação europeia e nacional de segurança e saúde ocupacional.

De acordo com a legislação da UE, os empregadores são responsáveis por realizar uma avaliação de risco (89/391/EEC, diretiva-quadro de SST) e pelo fornecimento de equipamentos de trabalho seguros (89/655/EEC, diretiva de uso de equipamentos de trabalho) que permitem que os funcionários trabalhem sem sua saúde está em risco.

O teste de veículos para fins especiais, como uma ambulância, é complexo. Múltiplas funções (por exemplo, fixações, sistemas de manutenção, ruído, iluminação, aquecimento, resfriamento etc.) podem exigir vários testes, que podem ser destrutivos. Nesta edição, os testes cuidadosamente planejados de acordo com as estratégias do pior cenário reduziram o número de testes destrutivos sem sacrificar as qualidades dos testes.

Figura 13 *Crash test*

A preparação da amostra para o teste é bastante importante, onde o interior da ambulância será o sitio de interesse do projeto e os principais requisitos que serão avaliados no teste dinâmico são:

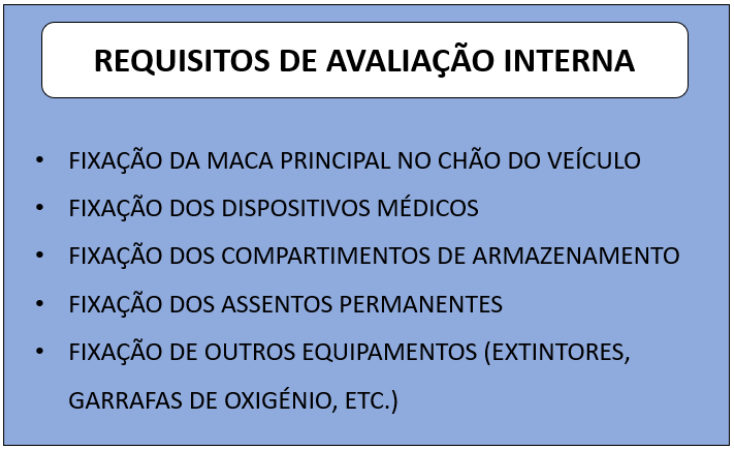


Figura 14 *Requisitos de avaliação para fixação interna (Kaya, 2019)*

De acordo com a EN 1789, o principal campo de interesse para o teste dinâmico é:

- Teste de fixação da maca principal no chão do veiculo
- Teste de fixação dos dispositivos médicos
- Teste das mobílias

Assim, enquanto a preparação da amostra é conduzida, essas três áreas de teste que estão todas dentro do compartimento do paciente da ambulância devem precisar de mais foco. (Kaya, 2019).

3.4.1 Fixação da maca principal no chão do veículo

Os fabricantes de ambulâncias usam principalmente subestrutura do tipo MDF (placa de fibra de média densidade) e coberta para o piso do compartimento do paciente, a fim de garantir uma superfície plana adequada e propriedades antiderrapantes, de estanqueidade, etc. integridade da estrutura do piso da ambulância e a fixação do conjunto da maca no piso.

A montagem do teste considera a fixação entre o piso real da ambulância rodoviária e a maca. A avaliação da conformidade do conjunto da maca e do sistema de contenção do paciente não é objetivo deste teste. Portanto, é permitido o uso de massa de teste, que representa a maca original e a massa fictícia, que deve representar o pior cenário, a considerar o sistema mais pesado.

De acordo com o uso regular da maca, o tipo de conexão pode diferir entre os fabricantes de ambulâncias, alguns deles podem usar interface entre o piso e a maca, como suporte de maca. A preferência de massa de teste também pode ser diferente de acordo com diferentes situações e necessidades do fabricante da ambulância durante o teste.

Antes do início dos ensaios, deve ser definido o tipo de conexão, que é um parâmetro crítico para testar as fixações das macas no piso do veículo. O suporte da maca pode ser utilizado para fixar a maca ao veículo como interface. Neste caso, o fabricante deve definir o peso máximo e a altura do centro de gravidade do suporte da maca. Além disso, o suporte da maca

deve estar em conformidade com a norma EN 1865-5. De acordo com a utilização normal de uma maca definida pelo fabricante, o teste pode ser realizado com fechaduras montadas no piso sem qualquer estrutura de interface. Para qualquer caso, uma maca real ou massa equivalente representando a maca e o manequim podem ser usados a menos que haja uma avaliação do conjunto da maca e do paciente sistema de contenção.

O teste deve ser realizado com uma massa de teste de 126 kg (onde 51 kg representa a maca e 75 kg para o paciente), onde também pode ser utilizado uma massa equivalente que pode representar a maca (ou seja, maca substituta) e um manequim que atenda as dimensões físicas, peso e centro de gravidade em todos os eixos. O mecanismo de travamento da maca que fica montado no piso com representação real da amostra de teste da maca pode ser visto na **Figura 15**. Além disso, uma maca representativa deve ser fornecida com os mesmos pontos de conexão à subestrutura do compartimento do paciente que corresponda ao uso pretendido de uma maca real.

Realizando-se o teste dinâmico de forma que nenhum reforço adicional seja necessário para proteger a maca do paciente e atendendo a fixação real e as restrições do paciente, a maca do paciente e o suporte de piso podem ser qualificados para a EN 1865-1 simultaneamente. (Kaya, 2019)

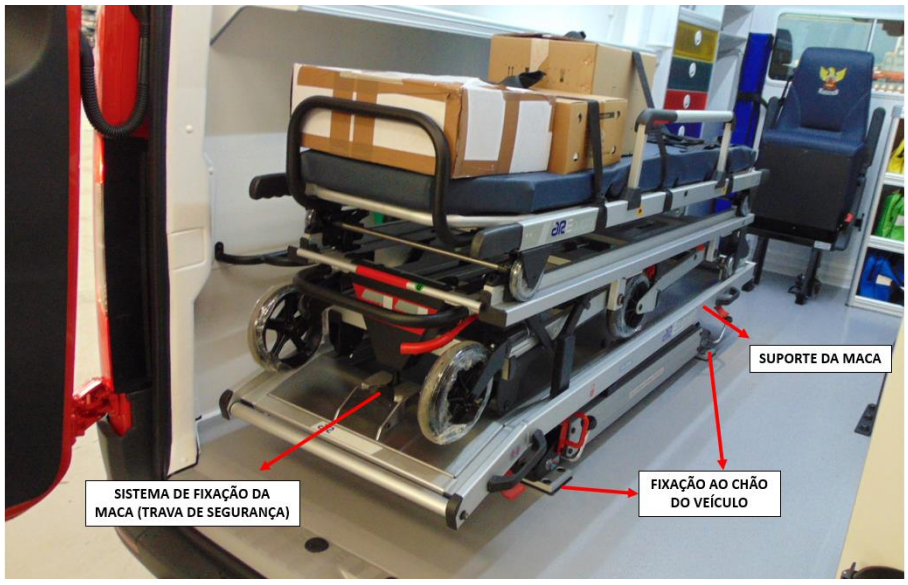


Figura 15 *Detalhe de fixação da maca ao chão do veículo (AR)*

3.4.2 Fixação de dispositivos médicos

Dependendo do tipo de veículo da ambulância (A1, A2, B e C), existem muitos tipos diferentes de equipamentos, como sistemas de oxigénio, ventilador, desfibriladores, aspirador a vácuo, extintor de incêndio, bomba de infusão, etc. Contudo iremos avaliar apenas os itens presentes para as ambulâncias do tipo B e os equipamentos necessários estão presentes na **Tabela 2**.

A principal intenção do teste de fixação dos dispositivos médicos é avaliar a integridade do sistema com os equipamentos durante o teste dinâmico. Antes do ensaio, devem ser definidos o tipo de fixação, a massa admissível e a localização dos pontos de fixação. A massa de teste, que representa o peso e a dimensão do equipamento real, pode ser usada para testar o sistema de retenção.

De acordo com as cláusulas 5.4.3 e 6.3.5 da EN 1789+A2, ambos os pontos de fixação de dispositivos médicos no veículo da ambulância e o sistema de fixação de dispositivos médicos devem ser testados. Para o primeiro item da tabela, deve haver uma estrutura de corpo de ambulância equipada para testar os pontos de fixação. Os pontos de fixação e o sistema de fixação de dispositivos médicos podem ser qualificados de acordo com a EN 1789+A2 simultaneamente.

3.4.3 Fixação da mobília

Uma avaliação da integridade dos compartimentos de armazenamento internos, como armários e gavetas que são usadas para conter e proteger com segurança suprimentos de serviços médicos de emergência é de fundamental importância para validar o projeto de uma ambulância

As ferramentas, dispositivos médicos ou outros equipamentos uma vez que estão dentro de um espaço interno e expostos a testes dinâmicos de diferentes instruções é necessário garantir que os mesmos não serão danificados por conta de uma não integridade dos seus compartimentos e assim garantir também segurança das pessoas que estão dentro da ambulância.

O fabricante deve definir o peso máximo de projeto permitido para ser armazenado no compartimento de armazenamento. O saco de areia deve ser feito para uso como massa de teste com tolerância de peso de até 10%, onde o peso não deve ser fixado ao armário, sendo o mesmo posicionado livremente, como ocorre na realidade com os itens armazenados. Deve-se assegurar que a porta ou tampa do compartimento de armazenamento esteja fechada e os mecanismos de travamento estejam devidamente engatados após o ensaio.

Abaixo, na **Figura 16**, pode ser vista como é feita a preparação dos armários e gavetas para o teste dinâmico.

Figura 16 *Preparação em armário de teto (AR)*

Figura 17 *Preparação em armário de gavetas (AR)*

3.4.4 Preparação do compartimento do paciente para o teste de impacto

Na **Figura 18** é demonstrado o modelo da ambulância e seus reforços utilizados. Para a fixação do compartimento do paciente a fim de suportar os testes nas diferentes direções, devem haver algum reforço e interconexões na subestrutura do veículo. Paralelamente à preparação do interior da amostra de teste, a estrutura do chassi e as superfícies de conexão sob a carroceria original do veículo devem ser preparadas de forma a acoplar ao sistema de teste dinâmico, como pode ser visto na **Figura 19**.

Figura 18 *Preparação para teste Dinâmico (AR)*

Figura 19 *Suporte para acoplar ao sistema de teste dinâmico (AR)*

Para a realização da preparação da estrutura de reforço para o teste de impacto, alguns pontos devem ser levados em consideração;

- É permitido o reforço no chassi auxiliar, trilho do chassi, para a realização da fixação da carroceria do veículo ao trenó de teste.
- O reforço instalado no corpo ou compartimento do paciente não deve diminuir a deformação normal da estrutura
- Os reforços ou preparações não devem afetar o desempenho dos componentes internos durante os testes.

CAPÍTULO 4: AVALIAÇÃO DE CASO

4.1 Carpintaria e chaparia

Dentre os setores mais importantes para o projeto das ambulâncias na empresa Auto Ribeiro, a carpintaria e chaparia tem papel fundamental para o desenvolvimento e aplicação desses projetos, onde tais setores trabalham em conjunto a fim de garantir que todos os itens exigidos tanto pelos clientes quanto pela norma sejam atendidos.

Atualmente tais setores vem enfrentando uma grande dificuldade, no que se diz respeito ao peso dos itens de carpintaria e chaparia, onde através de um estudo foi possível analisar e quantificar onde os mesmos apresentam maior quantidade.

4.1.1 Indicadores de chaparia

A nível de chaparia, os reforços podem ser divididos nos seguintes locais:

- Chão
- Divisória
- Lateral Direita
- Lateral Esquerda
- Tejadilho

Onde para cada região, é realizado um projeto de chaparia a indicar a posição dos reforços que serão necessários ser aplicados na ambulância.

Como o objetivo do nosso estudo é voltado para a análise da transformação de uma ambulância modelo Mercedes Sprinter, serão apresentados a seguir indicadores apenas para este modelo de ambulância.

Os gráficos apresentados nas **Figura 20** a **Figura 23** mostram os indicadores de peso de chaparia para as ambulâncias modelo Mercedes Sprinter fabricados na Auto Ribeiro para cada tipo de ambulância.

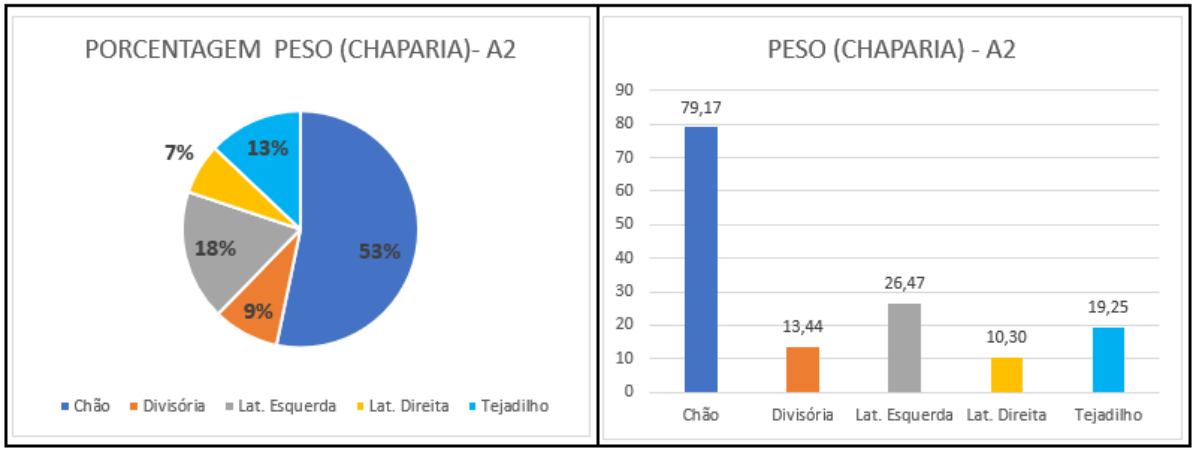


Figura 20 *Porcentagem e Peso (kg) médio para chaparia de Ambulâncias tipo A2*

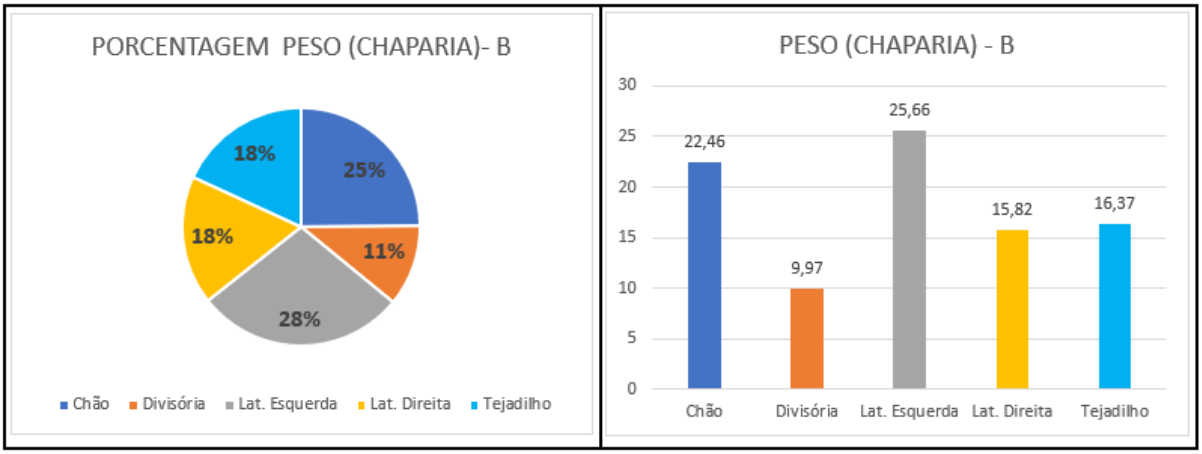


Figura 21 *Porcentagem e Peso (kg) médio para chaparia de Ambulâncias tipo B*

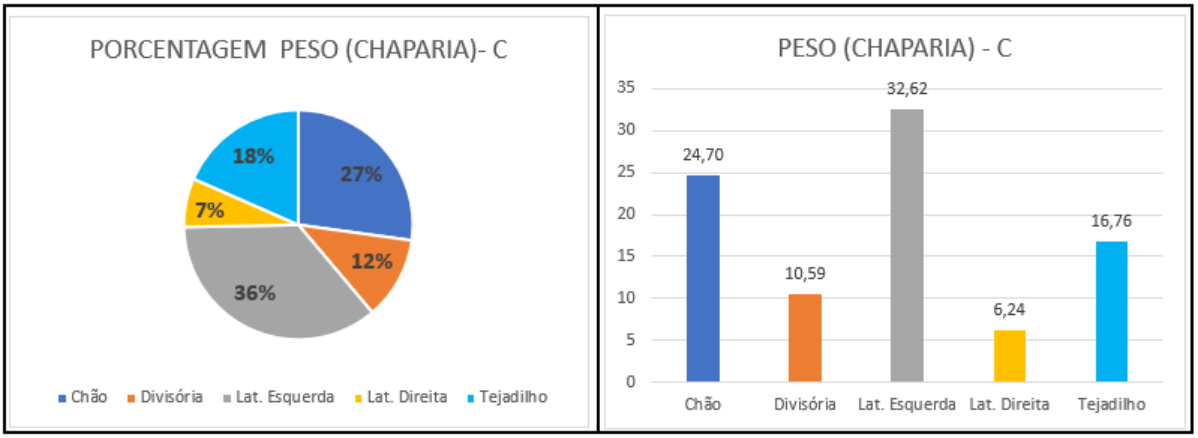


Figura 22 *Porcentagem e Peso (kg) médio para chaparia de Ambulâncias tipo C*

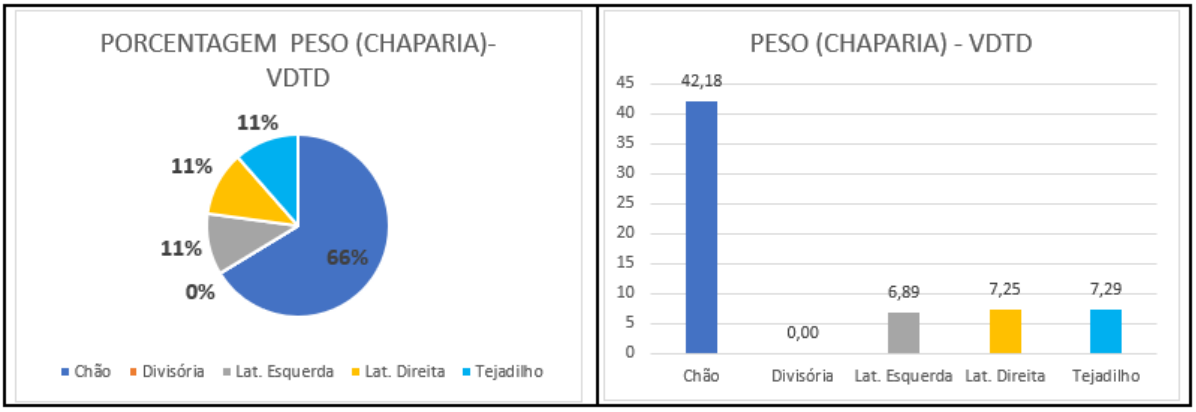


Figura 23 *Porcentagem e Peso (kg) médio para chaparia de Ambulâncias tipo VDTD*

Os gráficos em formato circulares (esquerdo) da **Figura 20** a **Figura 23**, representam as porcentagens das distribuições dos pesos médios de chaparia, enquanto os gráficos em barra (direita) representam as quantidades em quilograma.

A realizar a soma total da média dos pesos dos reforços de chaparia para as ambulâncias obtém-se os seguintes valores, demonstrados na **Tabela 3**:

Tabela 3 *Soma total das médias dos pesos de chaparia para cada tipo de ambulância*

Tipo de Ambulância	Soma total das médias de peso (Kg)
A2	148,63
B	90,29
C	90,91
VDTD	63,62

4.1.2 Indicadores de Carpintaria

Tratando-se de carpintaria, pode-se dividir nas seguintes áreas de projeto:

- Chão de madeira
- Divisória de Madeira
- Forras laterais Direita e esquerda
- Forras do tejadilho
- Armários ou compartimentos

Onde para cada região, é realizado um projeto de carpintaria a indicar o dimensionamento, material e posição das peças em madeira que serão necessários para serem aplicadas nas ambulâncias.

Como também é de interesse para o nosso estudo, será realizada uma análise de indicadores apenas para a transformação de uma ambulância modelo Mercedes Sprinter, onde os indicadores de carpintaria para os pesos das mesmas serão apresentados a seguir na **Tabela 4** para este modelo de ambulância.

Tabela 4 *Indicador de peso médio das madeiras de carpintaria por tipo de ambulância (AR)*

TIPO	PESO (Kg)
A2	210,7
B	180,9
VDTD	98,8

A partir destes indicadores, podemos observar que uma boa parte do peso também de carpintaria, apresenta um alto valor, sendo necessária uma avaliação das madeiras utilizadas, a fim de encontrar melhorias.

4.2 Apresentação do l*ayout* da transformação

A proposta que aqui se apresenta foi tomada como referência da empresa Auto Ribeiro Lda., a qual se disponibilizou para o fornecimento de dados relativos à estrutura e layout interno. Deste modo será possível realizar todas as simulações convenientes para confirmar a aptidão da estrutura quando exposta a solicitações do dia a dia, ou situações extremas como o caso de colisão.

A proposta a seguir trata-se de uma ambulância do tipo B, Modelo Mercedes-Benz Sprinter, com dimensões L2H2 e Tração traseira, onde o sistema referido tem como objetivo o transporte e prestação de cuidados de emergência médica a doentes urgentes e emergentes, com total segurança.

A **Figura 24** a seguir, demonstra qual a disposição do *Layout* interno deste tipo de ambulância, para que tenhamos uma melhor ideia dos equipamentos e materiais necessários para a avaliação do estudo.

Figura 24 *Layout interno da ambulância proposta (AR)*

Com a finalização da transformação é realizado a pesagem da viatura, onde para esta transformação protótipo em especifico ficou registrado um peso de 2875 Kg.

Contudo é necessário a realização do cálculo para o peso total da ambulância em uma situação onde ela está com sua lotação total, para isso é necessário adicionar as pesagens assim descritas pela norma, como mencionado na secção 3.2.

Podemos então chegar ao seguinte cálculo apresentado na **Tabela 5**:

Tabela 5 *Cálculo da massa total da viatura (AR)*

QNT	UND	Item	Peso Individual	Peso total
1	UN	Massa da Viatura Transformada	2875	2875
1	UN	Reserva de Massa	225	225
5	UN	Massa dos Passageiros	75	375
71	Lts	Massa do Tanque de combustível cheio (Diesel)	0,853	60,5
			Total	**3535,5**

No **ANEXO A**, pode ser encontrado na ficha técnica da viatura o valor mencionado acima, como relação ao volume do tanque de combustível, entre outras especificações técnicas, como também o peso máximo autorizado, que corresponde a 3500Kg.

Como podemos observar, a transformação protótipo desenvolvida com os materiais e sistemas disponíveis, apresenta um peso excessivo correspondente a 35,5 Kg, onde para isto será necessário a realização de um estudo a fim de deixarmos a viatura mais leve.

4.2.1 Indicador de distribuição por setor

A partir dos indicadores apresentados anteriormente, pode-se realizar um levantamento de distribuição do peso por setor da carpintaria e chaparia em relação aos demais itens

necessários na transformação de uma ambulância, tais como, fios elétricos, ar condicionado, ventilador, extintores, garrafas de oxigénio, entre outros.

Para a realização deste indicador, é necessário a realização da pesagem da viatura, sem seus itens de compartimento instalados de fábrica, ou seja, a viatura com seu compartimento vazio.

Após a coleta dos pesos da transformação vazia é realizado a mesma pesagem com a transformação completa, onde obtém-se o valor descrito no tópico anterior, podendo assim obtermos o valor do peso total de todos os itens utilizados na transformação, com isso chegamos ao seguinte indicador apresentado na **Figura 25** para esta transformação.

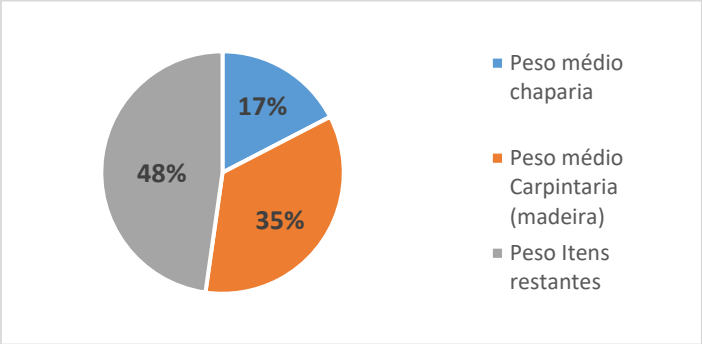


Figura 25 *Indicador de distribuição dos pesos*

4.2.2 Seleção dos sistemas críticos a serem avaliados

Partindo da ideia com a finalidade de atender os objetivos do sistema a implementar no projeto referidos anteriormente, devem ser selecionados os principais sistemas que lhe serão impostos, de modo a procurar soluções fiáveis e adequadas.

Como o objetivo deste trabalho será a redução do peso da viatura, entende-se que o ideal seria realizar um estudo para os pontos mais críticos de peso para os setores da chaparia e carpintaria individualmente e obviamente avaliar onde que pode ser modificado a nível de geometria e materiais estruturais das peças analisadas.

Portanto de forma a avaliar as condições atuais da viatura, primeiramente será realizado um estudo dos reforços de chaparia e carpintaria para o projeto em uso, onde através de uma análise crítica, foi determinado os seguintes pontos críticos de cada setor.

Para a chaparia, foram identificados que os seguintes pontos deverão ser avaliados para obtenção de melhoria:

- Reforço para *Charriot* manual;
- Reforço para banco encosto de rebater fixo;
- Reforço para suporte de soros;

A nível de carpintaria, foram identificados que os seguintes pontos deverão ser avaliados para obtenção de melhoria:

- Chão de madeira;
- Madeira da divisória;
- Armários de teto e avançado;

Tais Itens, descritos acima, cabe aos reforços de chaparia e as estruturas materiais de carpintaria, garantir a integridade dos sistemas, onde através da análise computacional dinâmica será feito o levantamento para manter tais condições.

Na **Figura 26**, está descrito e indicado os itens dentro do layout da ambulância, que serão avaliados.

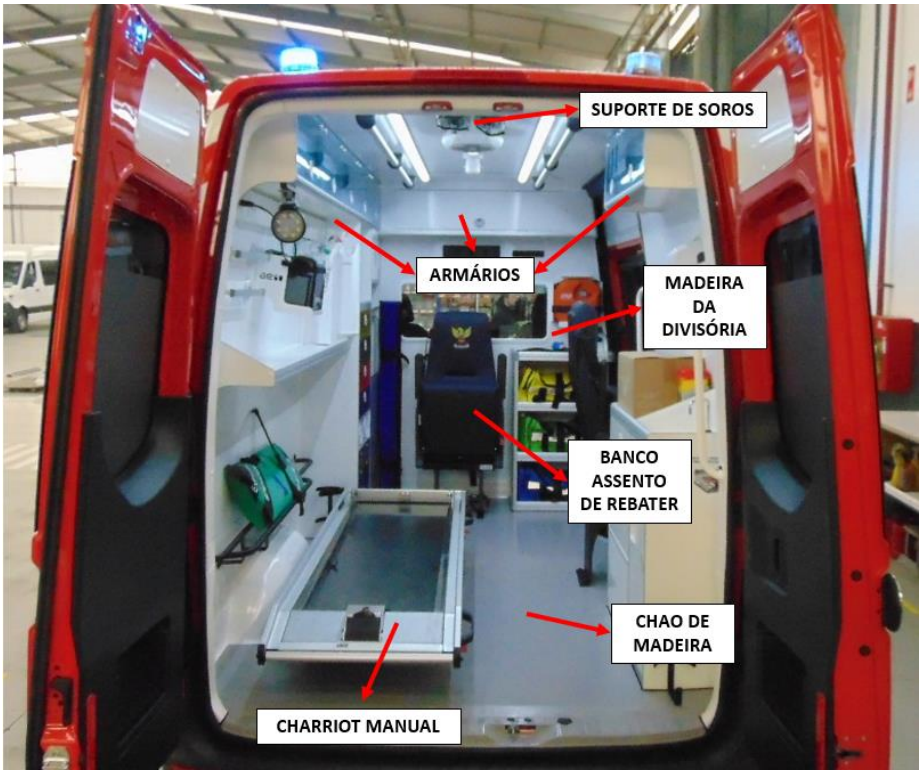


Figura 26 *Descrição dos itens do sistema (AR)*

4.3 Diagrama de forças para a simulação computacional

É de fundamental importância antes de se resolver qualquer tipo de problema que exijam esforços, identificar todas as forças e momentos relevantes envolvidos no problema. Com a finalidade de facilitar a visualização destas forças, isola-se cada corpo envolvido e desenha-se um diagrama de corpo livre ou diagrama de forças, que nada mais é do que um esquema simplificado envolvendo todas as forças que atuam no sistema.

Como mencionado no tópico anterior, serão realizados os estudos de caso para os itens de chaparia e carpintaria descritos, para assim compreendermos melhor os esforços aplicados para cada sistema individualmente.

4.3.1 Diagrama para o *charriot*, carrinho e paciente

Conforme se pode observar na **Figura 26**, o *charriot* manual será onde o carrinho e a maca será acoplado para que o utente que necessita de cuidados médicos fique em posição deitada, portanto é de fundamental importância projetar reforços adequados e seguros para esse sistema.

O modelo de *charriot* instalado é o do tipo A150, este *charriot* foi desenvolvido e concebido pela Auto Ribeiro, Lda e seu objectivo é melhorar o desempenho do conjunto de carrinho e

maca dentro da ambulância, a facilitar o acesso do carrinho ao interior da ambulância, na **Figura 27** pode-se observar o modelo.

Características técnicas:

- Peso aproximado: 84 kg;
- Carga máxima admitida: 300 kg;
- Medidas máximas: 1945x600x300mm;

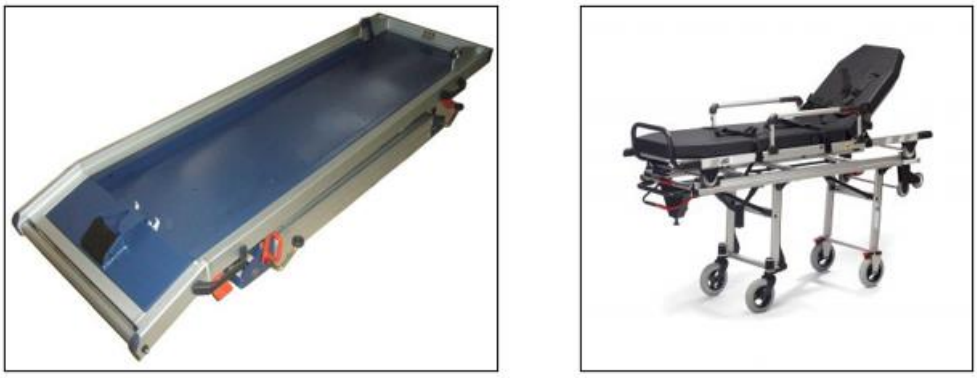


Figura 27 *Charriot A150 (esquerda) / Carrinho e maca (direita) (AR)*

Para determinarmos o centro de gravidade adotado em uma situação crítica é necessário obtermos também a altura e peso do conjunto *charriot*, carrinho, maca e paciente a fim de determinar o ponto onde será aplicada a força de 10G descrita no teste de impacto, como podemos ver na **Figura 28**, está representado o conjunto *charriot*, carrinho e maca.

Figura 28 *Representação montada do charriot, carrinho e maca (AR)*

Para a realização dos cálculos de centro de gravidade do conjunto, será realizado a representação do seguinte diagrama, demonstrado na **Figura 29** a seguir:

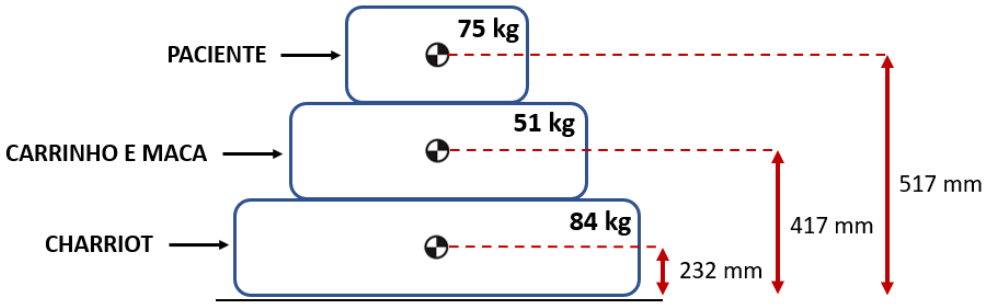


Figura 29 *Diagrama do conjunto e seus respectivos centros de gravidade*

Para a determinação do centro de massa do conjunto foi realizado o seguinte cálculo:

$$Y_{cg} = \frac{(84 \times 232) + (51 \times 417) + (75 \times 517)}{84 + 51 + 75} = \mathbf{378,7\ mm} \qquad (19)$$

Com a determinação da altura do centro de massa e o peso total do sistema, que é de 210 Kg, é possível determinar onde a força do peso total será aplicada na simulação.

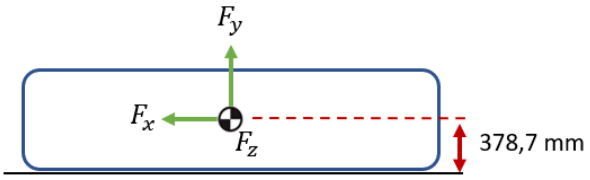


Figura 30 *Diagrama para sistema charriot, carrinho, maca e paciente*

Como pode-se observar na **Figura 28**, os pontos de fixação da base do *charriot* aos reforços do chão da viatura estão demonstrados, assim como a direção das forças que podem ser aplicadas na simulação, **Figura 30**.

Como o objetivo do estudo é a avaliação dos reforços de chaparia utilizados no sistema, a integridade do equipamento *charriot*, carrinho e maca não serão de interesse, tendo em vista que tais equipamentos já se encontram testados e certificados pela norma EN 1865-5, portanto o fator que deve ser analisado é apenas o reforço de chaparia.

4.3.2 Diagrama para banco encosto de rebater

Através da análise crítica dos reforços de chaparia utilizados nesta transformação, conclui-se que apenas o banco assento de rebater apresenta uma utilização dos seus reforços de chaparia com pesos elevados, podendo assim obtermos uma melhor ação de melhoria para esse sistema.

O modelo do banco encosto de rebater com apoios fixos, é um banco de transporte para viatura com cinto de 3 pontos e com Homologação M1, como pode ser visto na **Figura 31**.

A apresentar um peso total do assento de rebater e apoio de rebater, um valor aproximado de 38 Kg.

A determinação do centro de gravidade para este banco e a pessoa que irá sentada está demonstrada na **Figura 32**.

Figura 31 *Conjunto do banco encosto de rebater (AR)*

Para a realização dos cálculos de centro de massa do conjunto, será realizado a representação do seguinte diagrama a seguir:

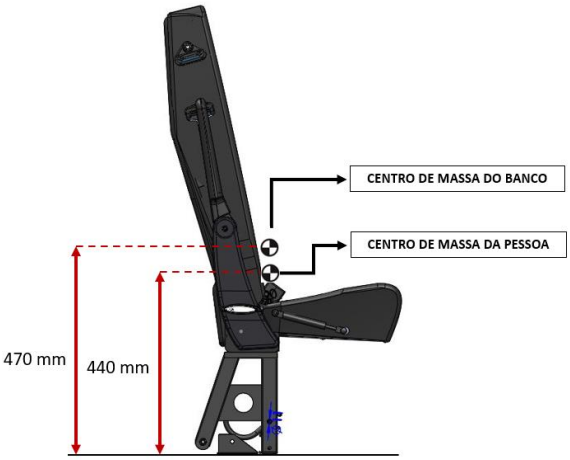


Figura 32 *Diagrama centro de massa do conjunto banco assento de rebater e pessoa*

Para a determinação do centro de massa do conjunto foi realizado o seguinte cálculo:

$$Y_{cg} = \frac{(38 \times 470) + (75 \times 440)}{38 + 75} = \mathbf{450\ mm} \qquad (20)$$

Com a determinação da altura do centro de massa e o peso total do sistema, que é de 113 Kg, é possível determinar onde a força do peso total será aplicada na simulação.

Assim como o *charriot*, o objetivo do estudo é a avaliação dos reforços de chaparia utilizados no sistema, a integridade do banco não será de interesse do estudo, tendo em vista que tais equipamentos já se encontram testados e certificados pela norma ECE R14, R16 E R17, portanto o fator que deve ser analisado é apenas o reforço de chaparia para o banco.

4.3.3 Diagrama para suporte de soros

Através da análise crítica dos reforços, também foi identificado que o reforço para o suporte de soros, também pode ser modificado, com o objetivo de obtermos uma melhoria a nível dos pesos para esse sistema.

Como os reforços utilizados nas laterais direita e esquerda foram analisados e observou-se que não poderiam ser modificados ou obter perda de pesos significativos, restou apenas ao tejadilho e o suporte de soro vem a ser o último reforço de chaparia a ser avaliado.

Os suportes de soros têm um papel fundamental para o tratamento do utente, onde sua estrutura deve apresentar firmeza para suportar o peso do componente liquido que está suspenso e também apresente um bom mecanismo de uso para os profissionais atuantes e utentes.

Na **Figura 33** pode-se observar a instalação dos suportes de soros e como é feita a sua fixação:

Figura 33 *Simulação suporte de soros (AR)*

Para a realização dos cálculos de centro de massa do conjunto, será realizado a representação do seguinte diagrama, demonstrado na **Figura 34** a seguir:

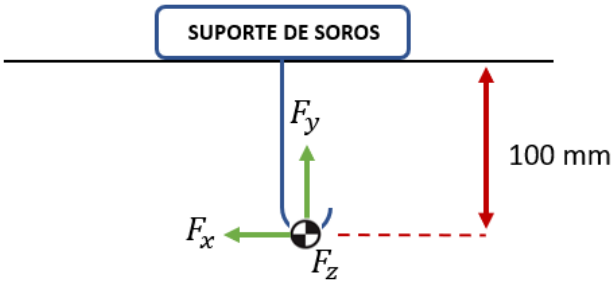


Figura 34 *Diagrama centro de massa do suporte de soros*

Também é identificado as forças atuantes no sistema dos suportes de soros, onde segundo a Norma 1789 o peso em que o suporte deve suportar é de 5 kg em cada lado.

Também é representado o centro de massa e as direções que serão utilizadas no ensaio.

4.3.4 Diagrama para itens de carpintaria

Para a avaliação dos itens de carpintaria, primeiramente devemos realizar uma análise individual dos itens que foram especificados na secção 4.2.2 e perceber a sua aplicação.

Primeiramente, iremos avaliar o chão de madeira, onde sua função principal é deixar uma superfície plana dentro da viatura e em seguida esse chão é forrado para garantir um bom acabamento para o chão e torná-lo anti-derrapante.

Como o chão de madeira fica a cima dos reforços e chão de origem da viatura, a integridade do sistema depende apenas dos reforços de chaparia tendo em vista que a função da madeira em si é apenas garantir uma boa superfície plana interna para o chão da ambulância, contudo o chão de madeira apresenta mesmo que pouco alguma resistência para o sistema no todo, sendo assim um item que será aplicado para a simulação do *charriot* e também do banco encosto de rebater.

O próximo item que será avaliado é a madeira da divisória, onde a mesma tem como função dividir a cabine do condutor e o compartimento do paciente garantindo também um certo nível de proteção entre essas áreas. Também apresenta uma grande importância para a fixação do Óculo da divisória e para o suporte do armário de sacos, como podemos observar na **Figura 35**.

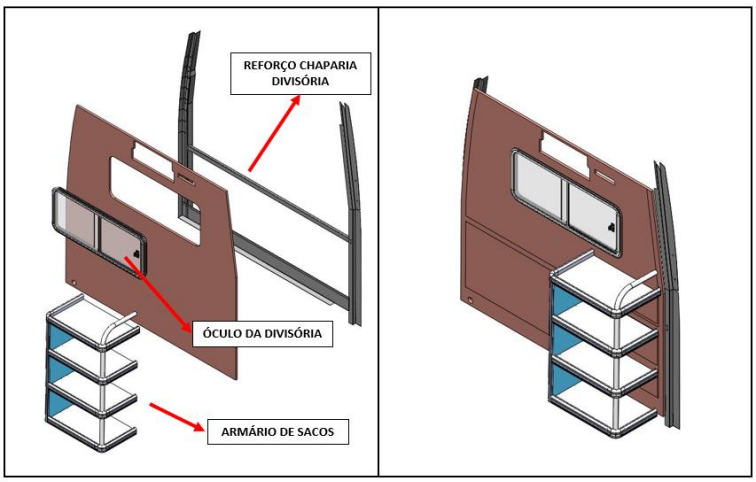


Figura 35 *Montagem da madeira da divisória*

Para a determinação dos esforços aplicados a madeira da divisória, foram determinadas as seguintes aplicações para a avaliação da simulação computacional, apresentados na **Figura 36**:

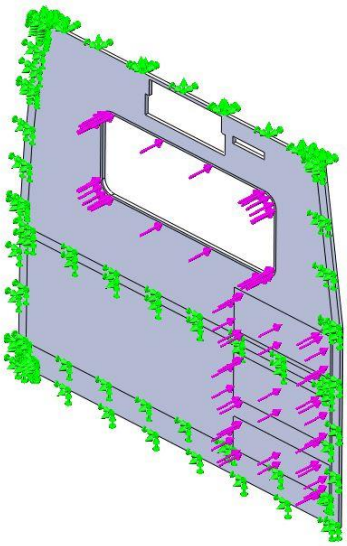


Figura 36 *Diagrama para simulação computacional madeira da divisória*

A representação demarcada em verde representa a parte dos apoios fixos decorrentes dos reforços de chaparia na estrutura da madeira da divisória, enquanto as setas demarcadas em rosa representam as forças atuantes em uma situação de impacto de 10G representada pelo peso do Óculo da divisória, no qual apresenta um valor de 6,4 kg e também a força aplicada referente aos sacos que são depostos no armário de sacos, que são encostados a madeira da divisória, onde em cada um deles apresenta um peso máximo de 7 kg cada.

Por fim também serão avaliadas as portas dos armários de teto esquerdo e consequentemente o direito, onde através da análise de simulação computacional será possível avaliar se em uma situação de impacto na viatura a porta do armário irá ceder, como foi descrito na secção 3.3.3, os sacos de areia não são fixos ao armário, então a avaliação será feita como se o saco acertasse a ponta da porta, ou seja, uma situação onde nesta região a porta sofrerá o máximo de tensão. Na **Figura 37** pode se ter uma ideia do arranjo para as portas dos armários.

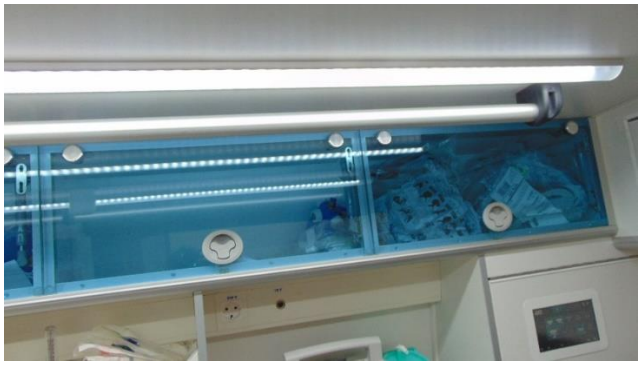


Figura 37 *Demonstração do arranjo para as portas dos armários*

Para a determinação dos pesos dos itens que serão depositados nos armários de cada compartimento, os mesmos devem conter um valor máximo pretendido de 4 kg, no qual, na **Figura 38** está representado como serão avaliados, a aplicar as condições descritas no parágrafo anterior.

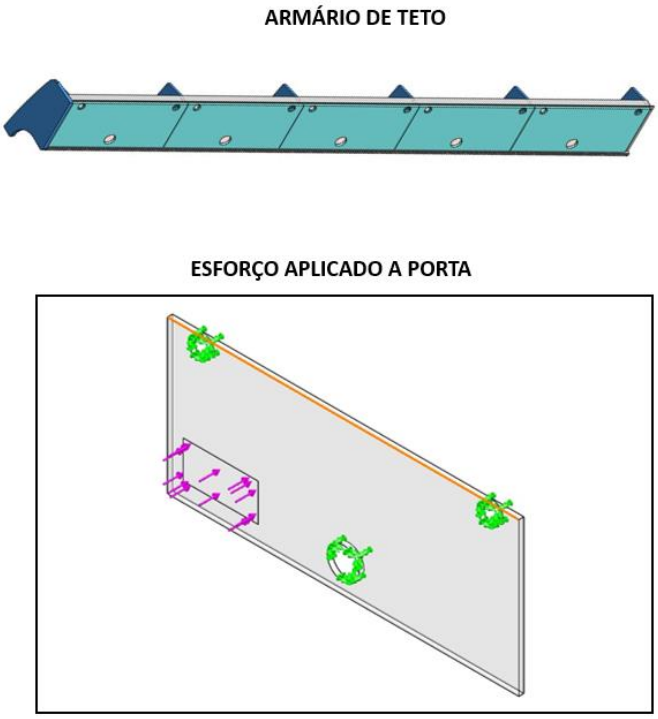


Figura 38 *Condições de fronteira para as portas dos armários de teto*

A representação acima também se aplica igualmente ao armário de teto direito, pois o mesmo apresenta as mesmas portas aplicadas ao armário de teto esquerdo, porem com a quantidade reduzida de compartimentos, onde para o armário esquerdo possui 5 portas e o direito apenas 2 portas.

Com a apresentação dos diagramas para cada item individualmente, será possível a realização da simulação computacional para assim determinar se as estruturas previamente mencionadas garantem segurança e integridade para a viatura.

CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1 Estudo de avaliação para chaparia e carpintaria

Para uma melhor compreensão da disposição atual das viaturas, neste capítulo será realizado um estudo para os itens de chaparia e carpintaria aplicados atualmente para a transformação selecionada, sendo avaliado as tensões máximas para cada sistema, também como os deslocamentos e fatores de segurança para cada sistema.

Após realizado o estudo da disposição atual, serão calculados os pesos que atualmente representam cada sistema e posteriormente será realizado um novo estudo com soluções e alternativas distintas com o objectivo de redução de peso, contudo garantindo segurança e integridade dos sistemas avaliados.

Para dar início aos resultados obtidos, primeiramente será avaliado a disposição atual utilizada pela Auto Ribeiro, a ser avaliado os itens de chaparia e em seguida os de carpintaria.

5.2 Simulação para os reforços do *Charriot*

Como apresentado na secção 4.3.1, foi possível identificar o centro de massa onde a força será aplicada em uma situação de impacto, contudo para prosseguirmos a avaliação é necessário a apresentação dos componentes que fazem parte do sistema de reforço do *charriot*, na **Figura 39** a seguir é possível identificar todos os componentes que irão fazer parte da simulação computacional.

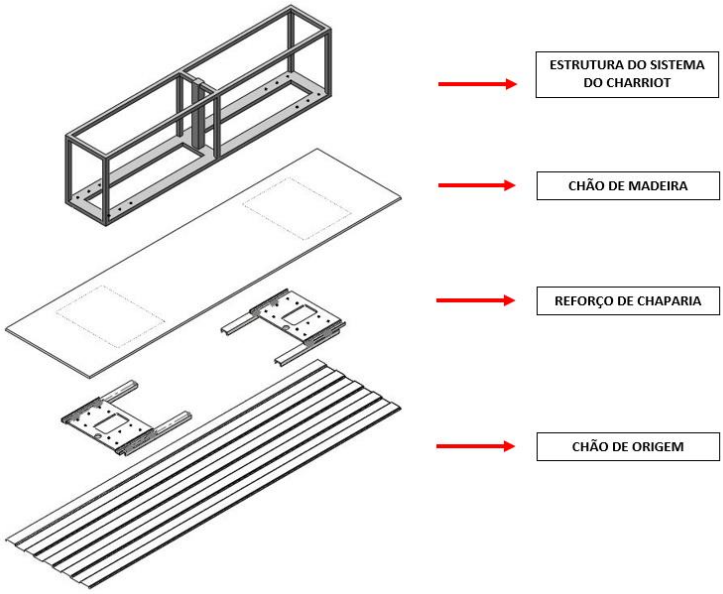


Figura 39 *Componentes para simulação computacional do conjunto do charriot*

A estrutura do sistema do *charriot* representa o conjunto do *charriot*, carrinho, maca e paciente, onde será aplicado uma força de 2100 kgf na altura do centro de gravidade.

Neste estudo é pretendido perceber qual o comportamento do sistema, em uma situação de impacto frontal e lateral. Este estudo inicial serve para ter uma noção das tensões que os reforços de chaparia estão sujeitos no momento do impacto, pois são eles que garantem a segurança do sistema para que permaneçam fixos e seguros para o paciente que esteja a utiliza-la.

Portanto, nesta primeira fase serão consideradas as forças de um impacto frontal e lateral, onde podemos ver na **Figura 40** que as condições de fronteira aplicadas ao sistema que serão consideradas partindo do princípio que o chassi da viatura não será levado em consideração, pois o mesmo deve apresentar uma estrutura rígida, onde as barras do reforço de chaparia que serão soldadas a ele representa uma região fixa do sistema, também pode-se observar que a região de simulação foi recortada para apenas considerar a área de atuação do sistema, a deixar as bordas do sistema fixadas, com grau de liberdade nulo nesta região.

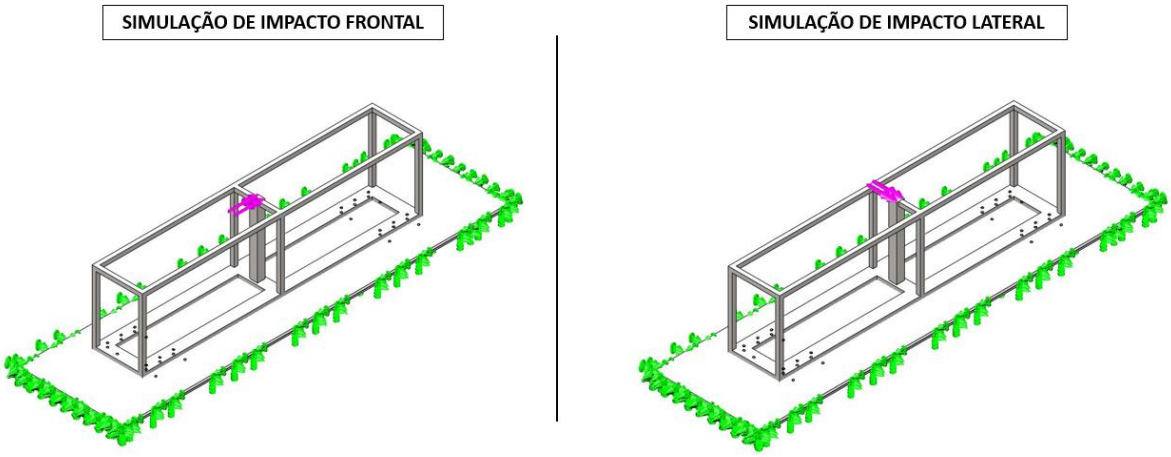


Figura 40 *Condições de fronteira para o sistema do charriot*

Para a construção referida anteriormente, foram utilizadas diferentes secções de material, isto é, utilizaram-se chapas soldadas, barras e madeira, formando uma estrutura.

As informações referentes as características dos materiais foram fornecidas pela empresa Auto Ribeiro, permitindo assim realizar a construção do modelo. Em seguida são especificadas as características de cada um dos materiais utilizados:

- <u>Chapas</u>

Chapas de espessura de 0.8 (chão de origem) e 8mm (Reforço de chaparia), sendo o seu material de constituição o aço de construção S235JR (chão de origem) e S275JR (reforço de chaparia), de acordo com a norma de material EN 10025.

- <u>Barras</u>

Barras de perfil U com as dimensões de 30x15x4 e 40x20x5 mm, sendo o seu material de constituição aço de construção S275JR, de acordo com a norma de material EN 10025.

- <u>Madeira</u>

Madeira MDF Hidrofogo 12mm, é uma placa de fibras de densidade média, cujo o processo de fabricação é semelhante ao mdf cru standard, com componentes anti-humidade conferindo ao produto elevada resistência à humidade.

Em seguida, é apresentada na **Tabela 6** com algumas características do material utilizado.

Tabela 6 *Propriedade dos materiais (Gavex, Valbopan)*

Material	Nº	Tensão de Cedência [MPa]	Tensão de Rutura [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coeficiente de *Poisson*
S235JR	1.0037	235	360-510 (de 3 a 100mm espessura)	210	0,28
S275JR	1.0045	275	410-560 (de 3 a 100mm espessura)	210	0,3
Madeira Hidrófugo MDF	-	10	20	4	0,25

Para dar início a simulação computacional é fundamental apresentar uma malha que seja bem refinada para assim como vimos anteriormente, o resultado apresentado seja cada vez mais similar com a realidade, tendo isso em mente a seguir na **Figura 41** será apresentado a malha que foi gerada pelo *software SolidWorks* e em seguida na **Tabela 7** são apresentadas as características da malha realizada para o sistema dos reforços do *charriot*.

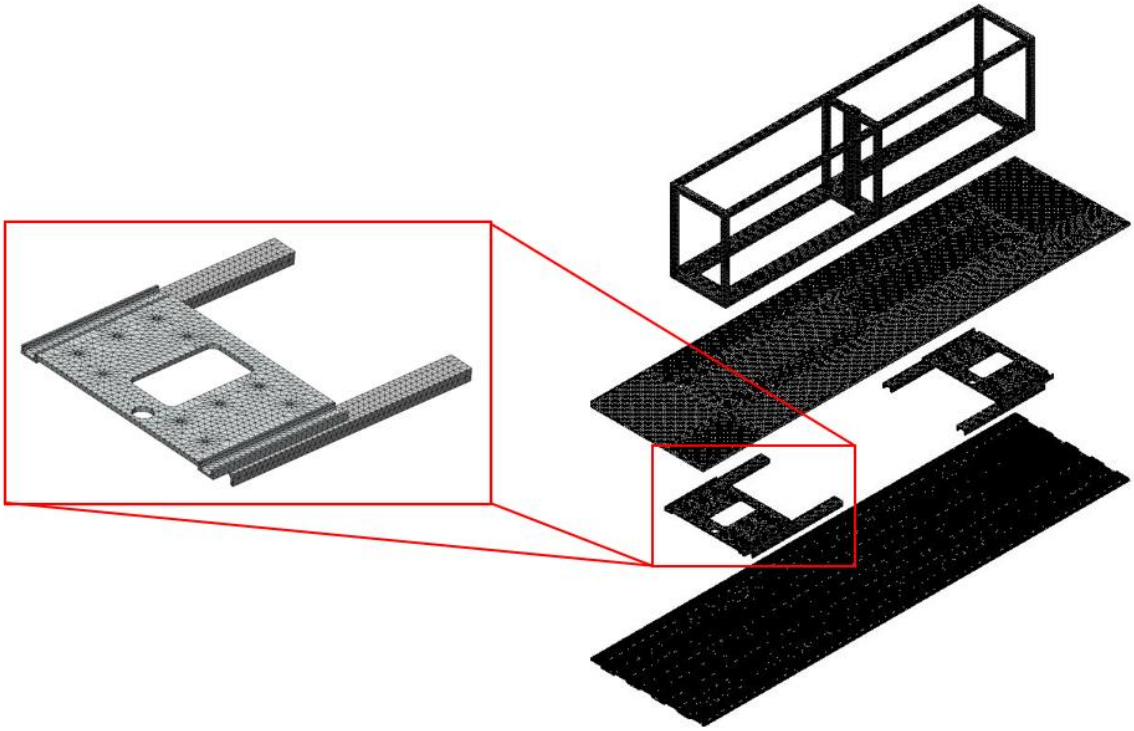


Figura 41 *Malha para os componentes do sistema do charriot atual*

A determinação das características da malha gerada, está presente na **Tabela 7** a seguir.

Tabela 7 *Parâmetros da malha para o conjunto do charriot*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	10,733 mm
Tolerância	0,536 mm
Número de Nós	489194
Número de Elementos	288307
Qualidade da malha	Alta

Seguidamente, nas **Figura 42** a **Figura 44** são apresentados os resultados obtidos para a tensão de Von Mises, deslocamento e fator de segurança no presente estudo do impacto frontal e lateral e assim avaliado o valor da tensão máxima sofrida pelo sistema.

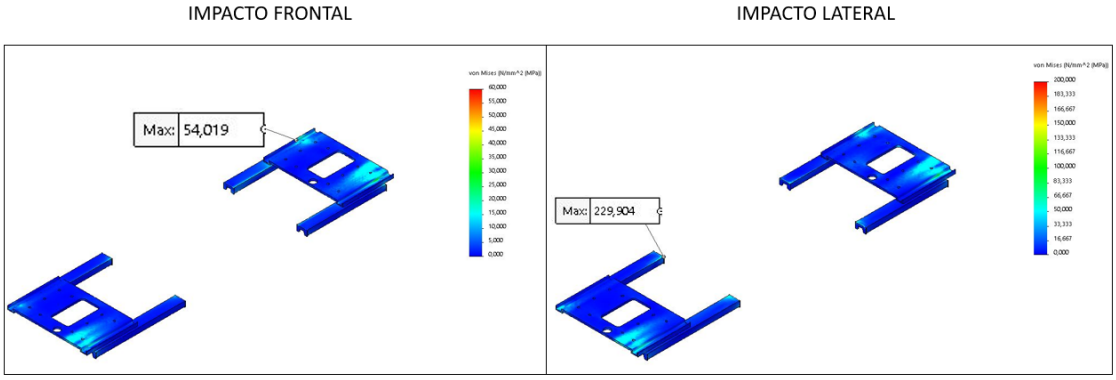


Figura 42 *Tensão de Von Mises*

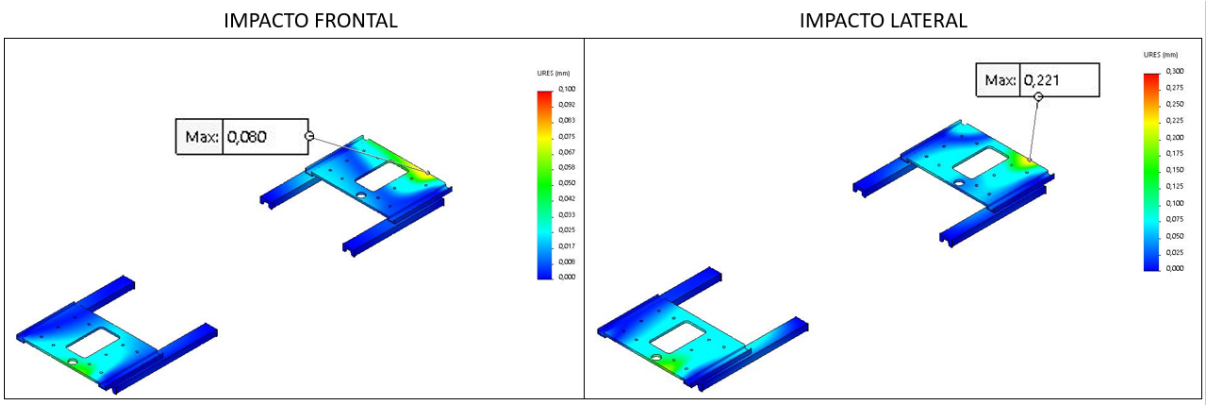


Figura 43 *Campo de deslocamentos*

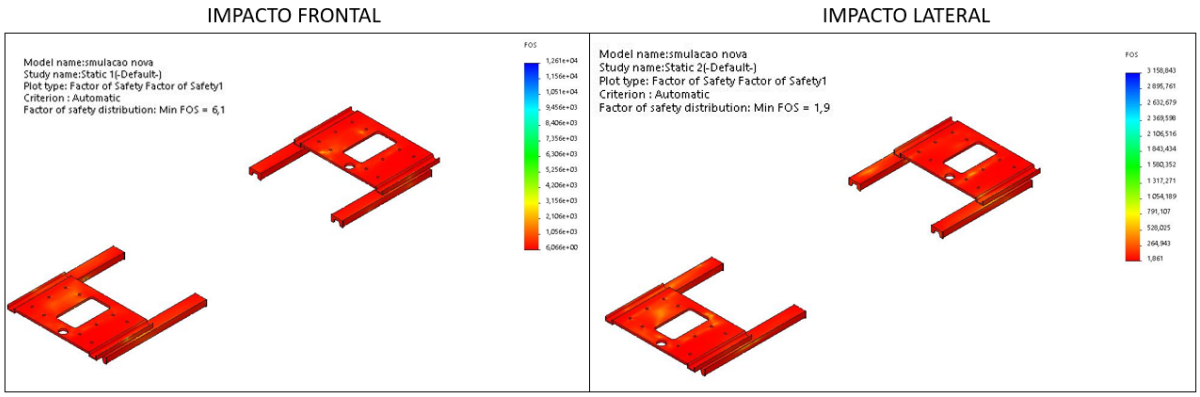


Figura 44 *Fator de segurança*

Com a apresentação dos resultados obtidos, podemos chegar à conclusão que a região que irá sofrer maior tensão, está localizada nas barras que serão soldadas ao chassi da viatura, como podemos observar na **Figura 42**, a simulação também apresentou um valor de 6,1 para o fator de segurança para o impacto frontal e 1,9 para o lateral, no qual garante um sistema seguro e com uma boa integridade quando exposto em uma situação extrema, como o caso de colisão frontal e lateral assim especificado pela norma de crash test.

Também é importante o registro do peso total do sistema, tendo em vista que o objetivo final será desenvolver um sistema mais leve. Com isso, a soma total dos reforços de chaparia utilizados para esse sistema obteve um valor de 13,68 kg.

5.3 Simulação para o reforço banco encosto de rebater fixo

Como foi especificado na secção 4.3.2, foi calculado o centro de massa onde a força resultante ao impacto será aplicada, Assim como o sistema do *charriot* e para prosseguirmos com a avaliação é necessário a apresentação dos componentes que fazem parte do sistema de reforço do banco encosto de rebater fixo, na **Figura 45** a seguir é possível identificar todos os componentes que irão fazer parte da simulação computacional para esse sistema.

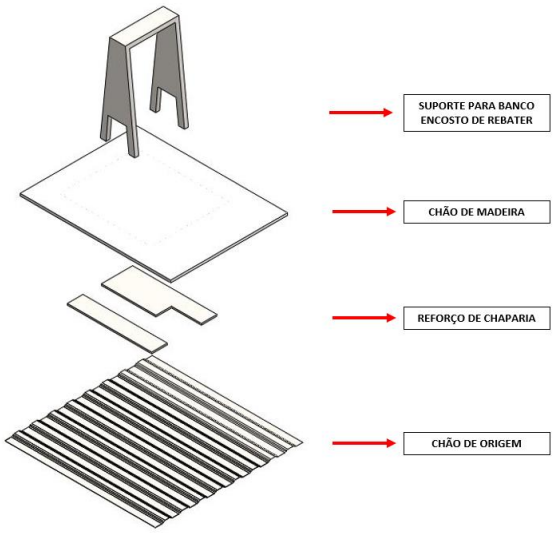


Figura 45 *Componentes para simulação computacional do conjunto banco encosto de rebater fixo*

O conjunto do sistema do banco encosto de rebater representa a estrutura demonstrada acima, onde será aplicado uma força de 1307 kgf na altura do centro de gravidade calculado na secção 4.3.2.

Neste estudo é pretendido perceber qual o comportamento do sistema, em uma situação de impacto frontal e lateral. Este estudo inicial serve para ter uma noção das tensões que os reforços de chaparia estão sujeitos no momento do impacto, pois são eles que garantem a segurança do sistema para que permaneçam fixos e seguros para o paciente ou profissional de saúde que esteja a utiliza-la.

Portanto, assim como no estudo do *charriot*, serão consideradas as força de um impacto frontal e lateral, onde podemos ver na **Figura 46** que as condições de fronteira aplicadas ao sistema que serão consideradas partindo do princípio que o chassi da viatura não será levado em consideração, pois o mesmo deve apresentar uma estrutura rígida onde as barras do reforço de chaparia que serão soldadas a ele representa uma região fixa do sistema, neste caso, os reforços de chaparia atravessam o chão com uma espécie de calço onde é soldado ao chassi e assim garante a condição fixa determinada a simulação, onde em suas pontas estão fixas como podemos observar na **Figura 47**, também pode-se observar que a região de simulação foi recortada para apenas considerar a área de atuação do sistema, a deixar as bordas do sistema também fixadas.

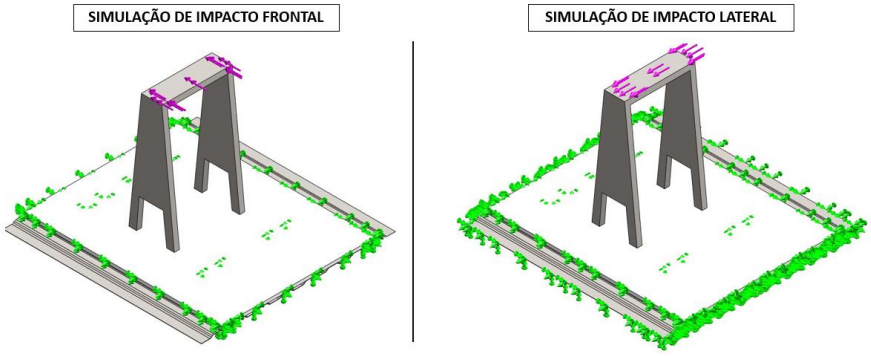


Figura 46 *Condições de fronteira para o sistema do banco encosto de rebater fixo*

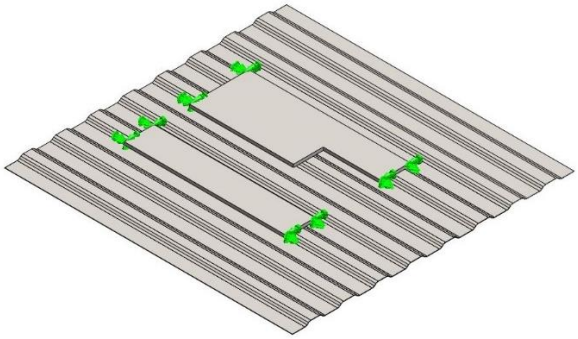


Figura 47 *Fixação do reforço de chaparia ao chassi*

Para a construção do sistema referido anteriormente, foram utilizados os seguintes materiais.

- <u>Chapas</u>

Chapas de espessura de 0.8 (Chão de origem) e 8mm (Reforço de chaparia), sendo o seu material de constituição aço de construção S275JR, de acordo com a norma de material EN 10025.

- Madeira

Madeira Hidrofogo 12mm, é uma placa de fibras de densidade média, cujo o processo de fabricação é semelhante ao mdf cru standard, com componentes anti-humidade conferindo ao produto elevada resistência à humidade.

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 48**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados ao sistema do banco encosto de rebater fixo.

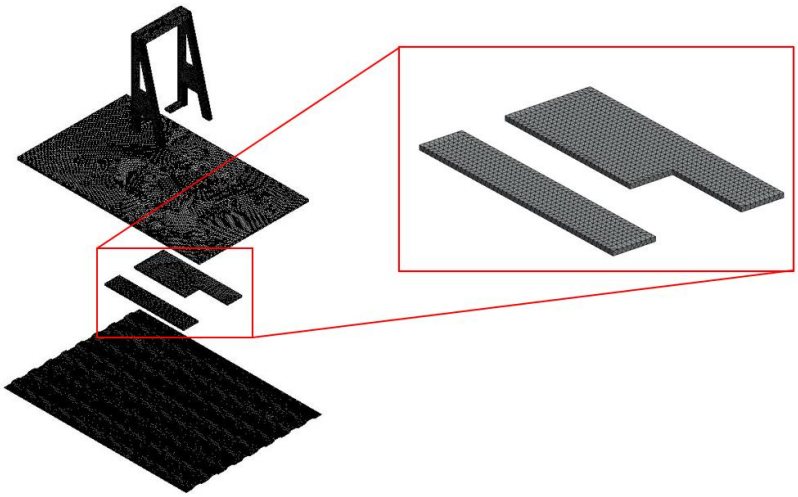


Figura 48 *Malha para os componentes do sistema do banco encosto de rebater fixo*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 8** a seguir.

Tabela 8 *Parâmetros da malha para o conjunto do banco encosto de rebater fixo*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	9,857 mm
Tolerância	1,971 mm
Número de Nós	390367
Número de Elementos	214756
Qualidade da malha	Alta

Seguidamente, nas **Figura 49** a **Figura 51** são apresentados os resultados obtidos para a tensão de Von Mises, deslocamento e fator de segurança no presente estudo do impacto frontal e lateral e assim avaliado o valor da tensão máxima sofrida pelo sistema.

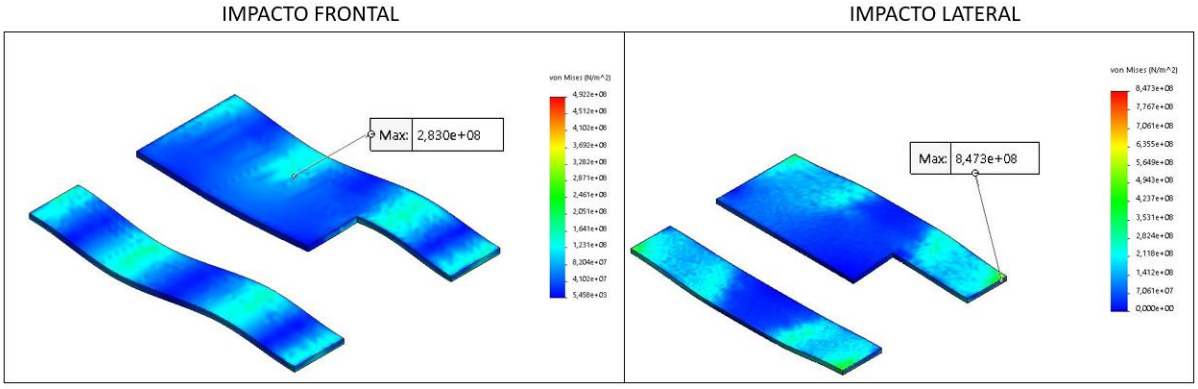


Figura 49 *Tensão de Von Mises*

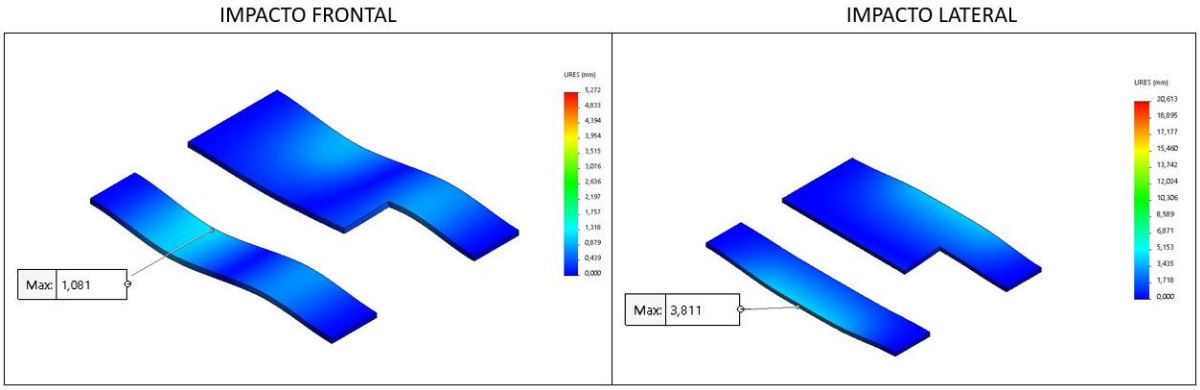


Figura 50 *Campo de deslocamentos*

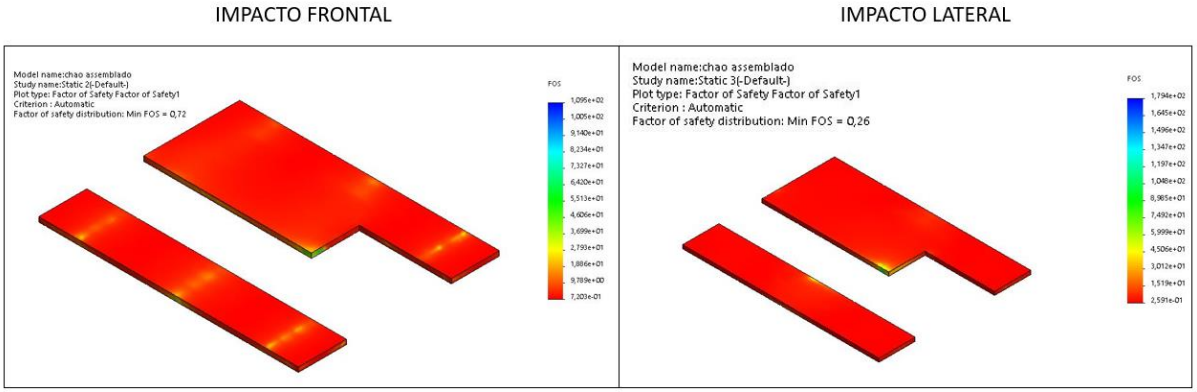


Figura 51 *Fator de segurança*

Com os resultados obtidos, podemos observar que as os reforços de chaparia utilizados para o sistema do banco apoio de rebater fixo apresentam valores de tensão máxima elevados nas regiões demonstradas na **Figura 49**, o que ocasiona a baixos valores de fator de segurança, 0,72 para impacto frontal e 0,26 para o lateral, tornando o sistema inviável para o caso de uma situação extrema de impacto a 10g.

Também é importante o registro do peso total do sistema, tendo em vista que o objetivo final será desenvolver um sistema mais leve e com um fator de segurança aceitável. Com isso, a soma total dos reforços de chaparia utilizados para esse sistema obteve um valor de 6,72 kg.

5.4 Simulação para suporte de soros

Como Demonstrado na secção 4.3.3, foi calculado o centro de massa onde a força resultante ao impacto será aplicada, a apresentação dos componentes que fazem parte do sistema do suporte de soros pode ser visto na **Figura 52**.

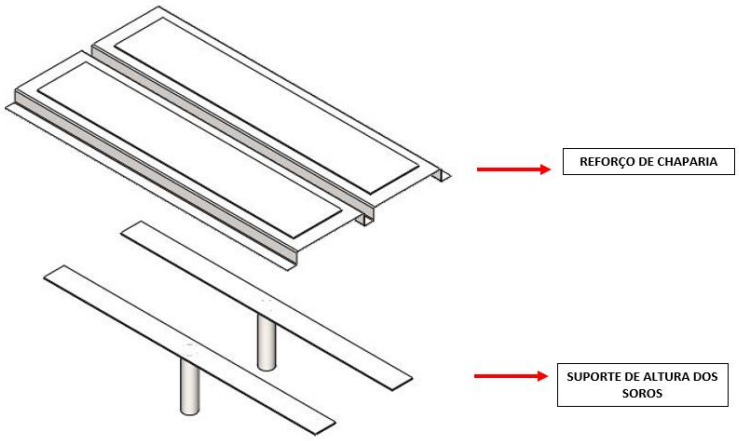


Figura 52 *Componentes do sistema do suporte de soros*

Os componentes do sistema do suporte de soros são demonstrados acima, onde será aplicado uma força de 50 kgf na altura do centro de gravidade calculado na secção 4.3.3, para cada um dos suportes de altura dos soros.

Contudo, assim como nos estudos anteriores, serão consideradas as força de um impacto frontal e lateral, onde podemos ver na **Figura 53** que as condições de fronteira aplicadas ao sistema que serão consideradas partindo do princípio que o tejadilho de origem e travessas da viatura não serão levadas em consideração, pois o mesmo deve apresentar uma estrutura rígida onde as barras do reforço de chaparia que serão soldadas a ele representa uma região fixa do sistema, neste caso, os reforços de chaparia serão fixados em suas pontas onde representa a parte que é soldada as travessas de origem do tejadilho.

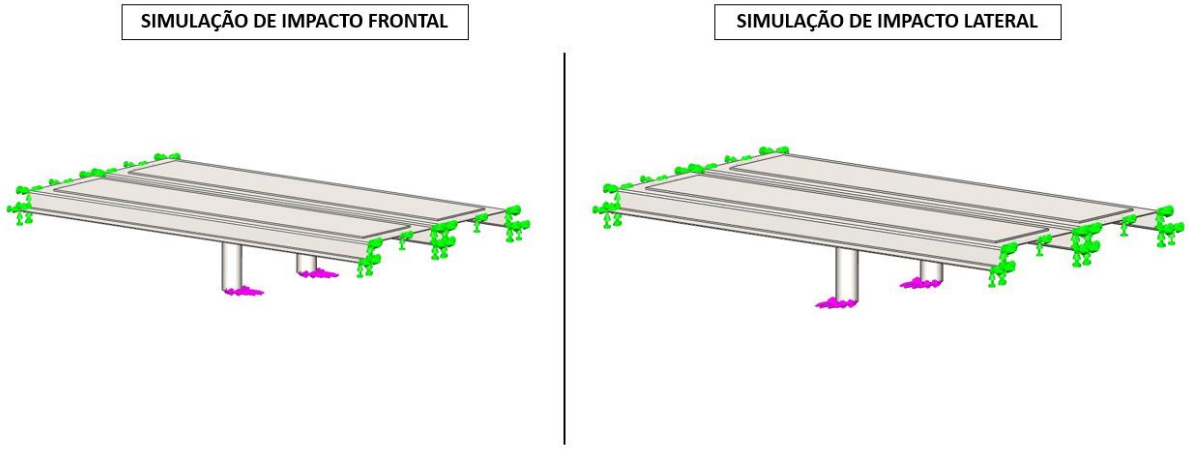


Figura 53 *Condições de fronteira para o sistema dos suportes de soros*

Para a construção do sistema referido anteriormente, foram utilizados os seguintes materiais.

- Chapas

Chapa de espessura de 1mm de aço baixo teor de carbono DC01, de acordo com a norma de material EN 10130 / 10139. representada pela chapa em formato de M.

Chapas de espessura 2mm de aço baixo teor de carbono DC01, a ser representada pelas chapas retangulares a cima da chapa de 1mm mencionada anteriormente, onde é soldado.

Abaixo, na **Tabela 9**, podemos observar algumas características do material utilizado.

Tabela 9 *Propriedade do material (Vinco)*

Material	Nº	Tensão de Cedência [MPa]	Tensão de Rutura [MPa]	Módulo de Elasticidade [Gpa]	Coeficiente de Poisson
Aço baixo teor carbono DC01	-	280	270-410	215	0,29

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 54**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados ao sistema do suporte de soros.

Figura 54 *Malha para os componentes do sistema do suporte de soros*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 10** a seguir.

Tabela 10 *Parâmetros da malha para o conjunto do suporte de soros*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	9,857 mm
Tolerância	1,971 mm
Número de Nós	390367

Número de Elementos	214756
Qualidade da malha	Alta

Seguidamente são apresentados os resultados obtidos para a tensão de Von Mises, deslocamento e fator de segurança no presente estudo do impacto frontal e lateral e assim avaliado o valor da tensão máxima sofrida pelo sistema.

De seguida, nas **Figura 55** a **Figura 57**, serão apresentados os resultados obtidos para a tensão de Von Mises, deslocamento e fator de segurança no presente estudo do impacto frontal e lateral.

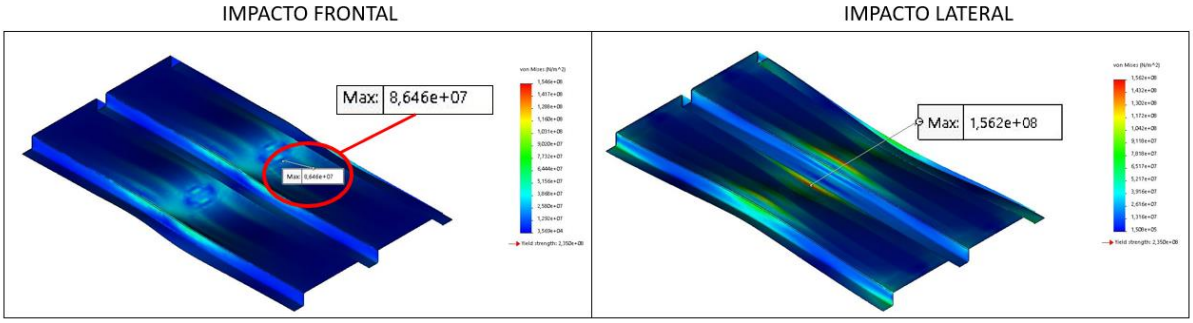


Figura 55 *Tensão de Von Mises*

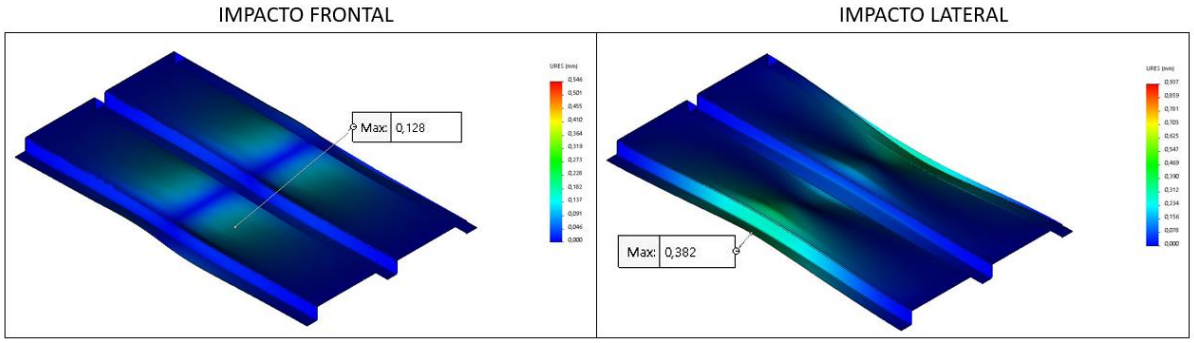


Figura 56 *Campo de deslocamentos*

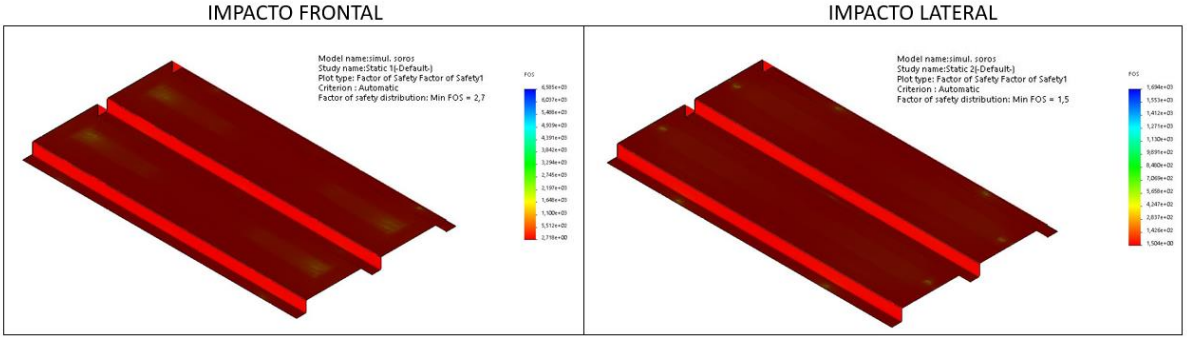


Figura 57 *Fator de segurança*

Com a apresentação dos resultados acima, podemos observar que as os reforços de chaparia utilizados para o sistema do suporte de soros apresentam valores de tensão máxima aceitáveis para a resistência do sistema, a ser localizados ao centro do reforço tanto para um impacto frontal como lateral, com isso apresentaram fatores de segurança de 2,7 para impacto frontal e 1,5 para o lateral, garantindo assim um sistema seguro e eficiente perante o teste de impacto.

A realizar o registro do peso total do sistema, calcula-se que o total registado para o suporte de soros tem o valor de 3,21 kg.

5.5 Simulação para a madeira da divisória

Assim como demonstrado na secção 4.3.4 foi possível perceber quais as forças atuantes na madeira da divisória, juntamente com as condições de fronteira que serão aplicadas na simulação computacional.

Abaixo na **Tabela 11**, é demonstrado a especificação do material utilizado para a construção da madeira utilizada.

Tabela 11 *Propriedades do MDF (Silva S. A. M., et. al., / Make It from)*

Material	Nº	Tensão de Cedência [MPa]	Tensão de Rutura [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coeficiente de Poisson
Madeira MDF 16 mm	-	10	20	4	0,25

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 58**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados ao sistema da divisória de madeira.

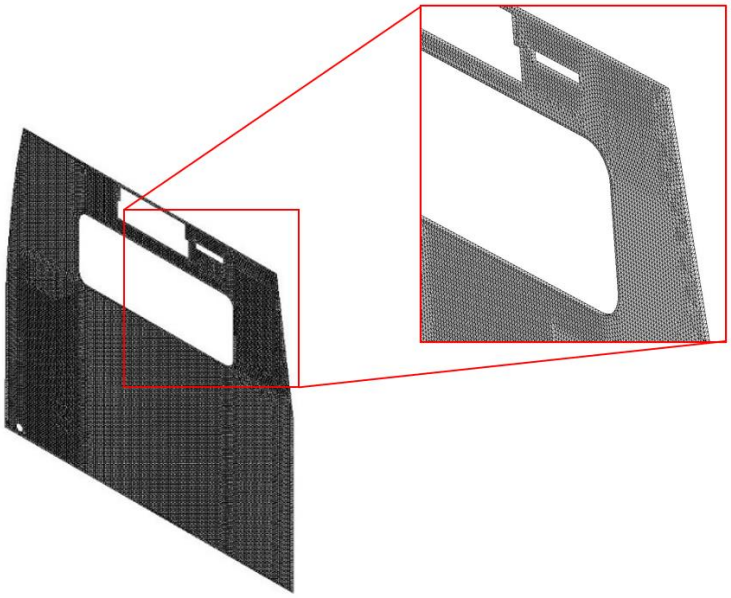


Figura 58 *Malha para o sistema da divisória de madeira*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 12** a seguir.

Tabela 12 *Parâmetros da malha para a divisória de madeira*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	12,314 mm
Tolerância	0,615 mm
Número de Nós	60959
Número de Elementos	30040
Qualidade da malha	Alta

A baixo nas **Figura 59** a **Figura 61** serão apresentados os resultados obtidos para a tensão de Von Mises, deslocamento e fator de segurança no presente estudo da madeira da divisória.

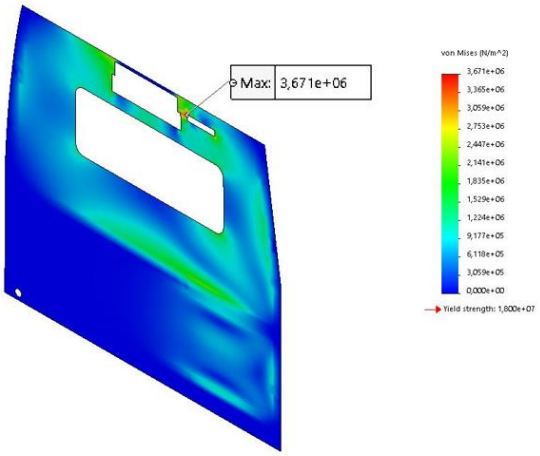


Figura 59 *Tensão de Von Mises*

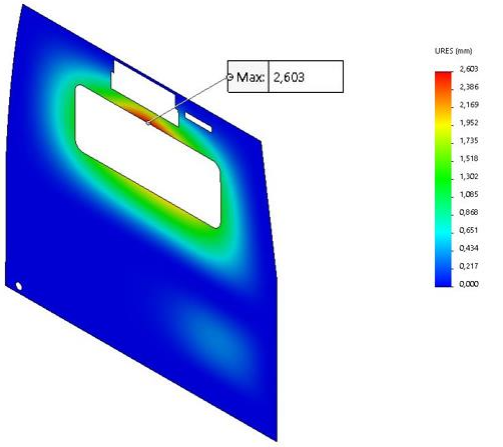


Figura 60 *Campo de deslocamentos*

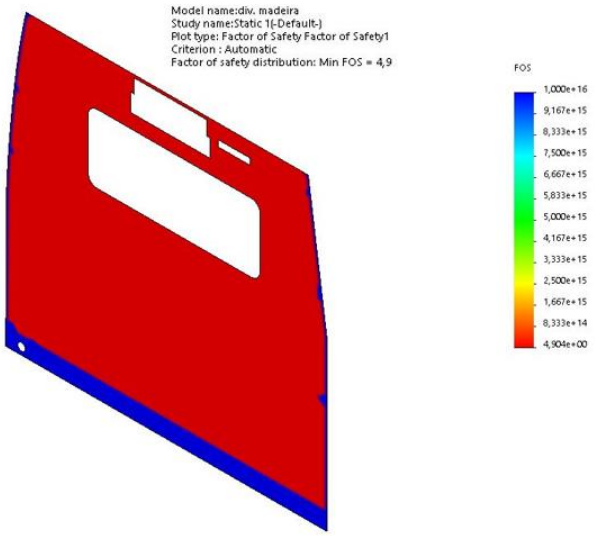


Figura 61 *Fator de segurança*

Com a obtenção dos resultados acima, podemos observar que as tensões máximas aplicadas na madeira da divisória, apresentam valores aceitáveis para não haver rompimento da madeira ou comprometer a funcionalidade e proteção desejada para esse sistema, no que garante que o óculo da divisória e também os sacos que serão encostados na divisória, não irão danificar a estrutura, como também podemos observar que o fator de segurança para o sistema apresentou um valor de 4,9 no que garante um sistema seguro e eficiente.

Contudo, é de fundamental importância para o nosso estudo o registo do peso da madeira que está a ser utilizada para o sistema, no qual apresenta um valor de 27,41 kg.

5.6 Simulação para os armários de teto direito e esquerdo

Assim como determinado na secção 4.3.4, serão analisadas as portas de acrílico utilizadas para os armários de teto direito e esquerdo.

Na **Tabela 13** é demonstrado as propriedades mecânicas do material utilizado para as portas dos armários de teto direito e esquerdo.

Tabela 13 *Propriedades mecânicas dos materiais (Dagol)*

Material	Nº	Tensão de Cedência [MPa]	Tensão de Rutura [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coeficiente de Poisson
Placa acrílico 1875 azul transparente 10mm		25,5 – 62.1	62 a 83	3,3	0,37

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 62**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados a porta dos armários de teto esquerdo e direito.

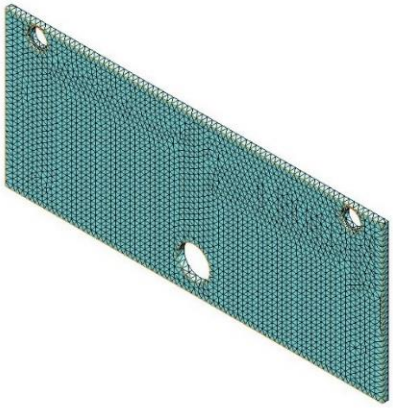


Figura 62 *Malha para a porta dos armários de teto esquerdo e direito*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 14** a seguir.

Tabela 14 *Parâmetros da malha para a porta dos armários de teto esquerdo e direito*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	7,83 mm
Tolerância	0,391 mm
Número de Nós	46693
Número de Elementos	27405
Qualidade da malha	Alta

Com a aplicação da simulação computacional são obtidos os seguintes resultados para a tensão de Von Mises, deslocamento e fator de segurança, observados nas **Figura 63** a **Figura 65** para o estudo das portas dos armários.

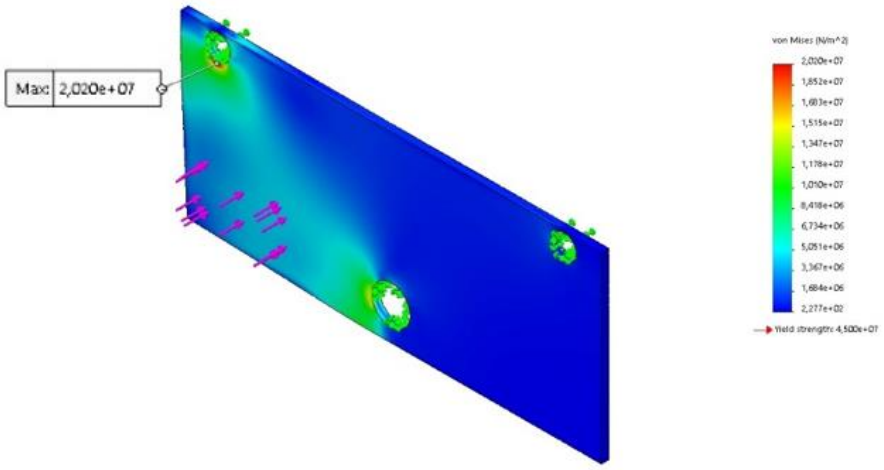


Figura 63 *Tensão de Von Mises*

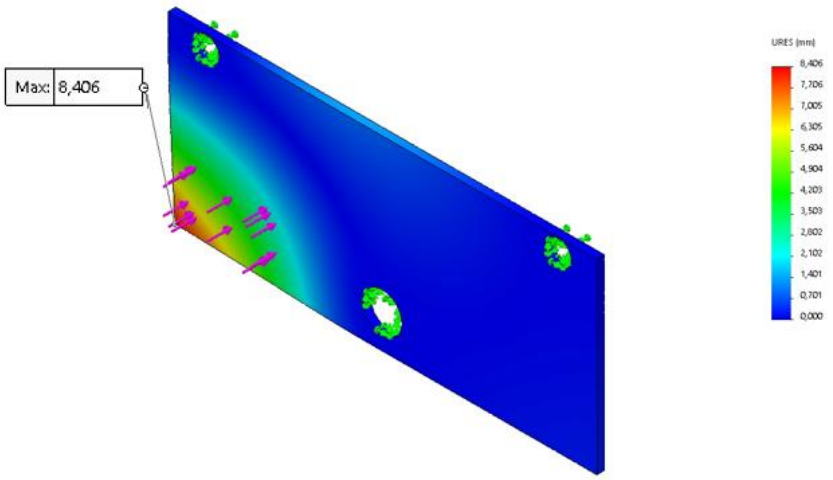


Figura 64 *Campo de deslocamentos*

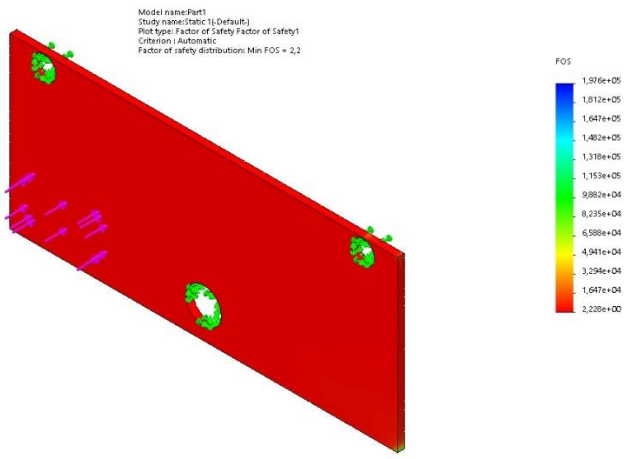


Figura 65 *Fator de segurança*

Com a obtenção dos resultados acima, podemos observar que as tensões máximas aplicadas na porta de acrílico, está localizada no ponto de fixação superior da porta e apresenta valores aceitáveis para que não aconteça da porta ceder ou quebrar, no que garante que os acessórios e ou equipamentos que serão estocados nos compartimentos dos armários de teto estarão seguros e não sairão dos mesmos, podemos observar também que o fator de segurança do sistema, apresentou um valor de 2,2, no que garante o que descrevemos anteriormente.

O próximo passo, que é fundamental para o objetivo deste estudo é o registro de peso que está a ser aplicado a viatura representado pelas 7 portas de acrílico que são aplicadas aos armários, no qual obtém-se um valor de 12,04 kg.

5.7 Estudo de melhoria para redução de peso

É de suma importância que as empresas venham sempre à procura da melhoria dos seus processos, projetos e serviços, pois quanto melhor estiverem a funcionar, melhor será a satisfação de seus clientes e consequentemente também pode-se resultar em diminuição dos custos, melhora da qualidade e segurança dos sistemas.

Com o objectivo de procurar soluções mais leves e que atendam aos requisitos de segurança exigidos, os estudos anteriores para a situação atual da transformação foram ideais para se perceber os locais mais críticos e o comportamento do sistema, sendo assim possível a busca de soluções aprimoradas para serem desenvolvidas.

A seguir serão demonstradas soluções alternativas para cada sistema que foi avaliado anteriormente, com a ideia de sempre estar à procura de soluções mais leves e fiáveis para ser instaladas na viatura. Primeiramente será apresentado a solução para os itens de chaparia e em seguida os de carpintaria.

5.7.1 Projeto de melhoria para o sistema do *Charriot*

Como pode ser observado nos resultados obtidos para o conjunto do *charriot*, as principais tensões encontradas estão localizadas nas barras que fazem a ligação ao chassi da viatura. Com isso, obteve-se a ideia de realizar a melhoria para a sapata que faz a fixação do *charriot* ao reforço. Abaixo, na **Figura 66**, pode ser observado a peça que sofrerá a alteração, juntamente com a nova disposição dos reforços utilizados.

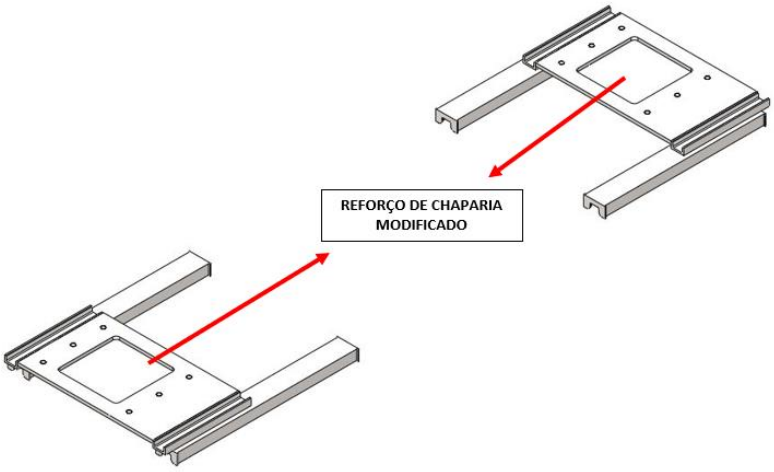


Figura 66 *Reforço de chaparia modificado*

Com a nova disposição dos reforços de chaparia foi possível realizar uma modificação na geometria e espessura para da chapa, utilizou-se o mesmo material, com uma espessura de chapa de 6mm, apontada na **Figura 66**.

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 67**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados ao conjunto do novo sistema de reforços do *charriot*.

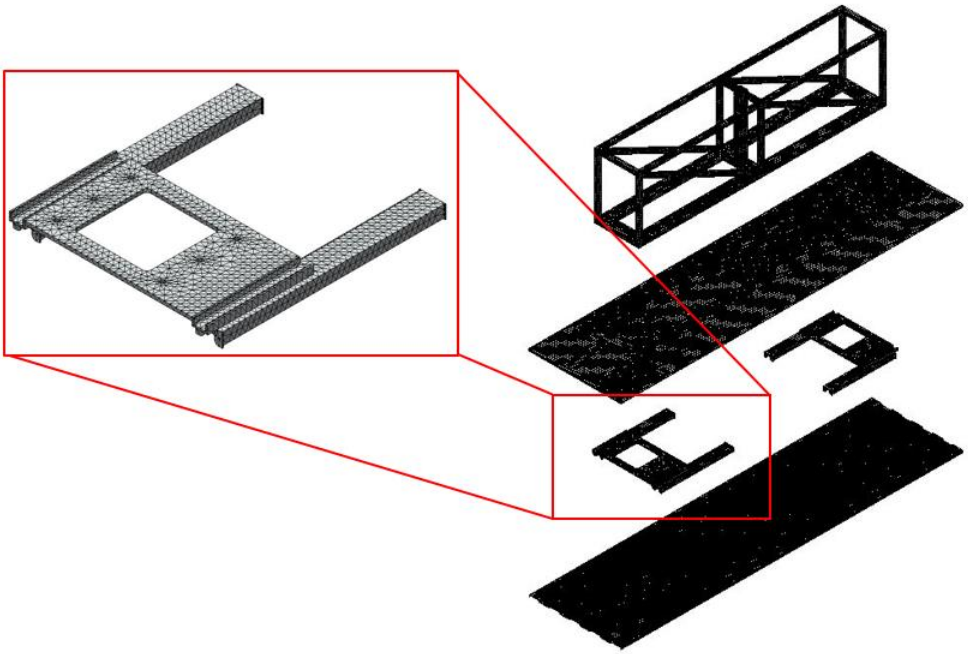


Figura 67 *Malha para os componentes do novo sistema de reforços do charriot*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 15** a seguir.

Tabela 15 *Parâmetros da malha para o novo conjunto de reforços do charriot*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	10,733 mm
Tolerância	0,536 mm
Número de Nós	488284
Número de Elementos	283990
Qualidade da malha	Alta

Em seguida nas **Figura 68** a **Figura 70** foram realizados os testes para a avaliação das tensões de Von Mises, deslocamento e fator de segurança para o novo sistema de reforços e obteve-se os seguintes resultados.

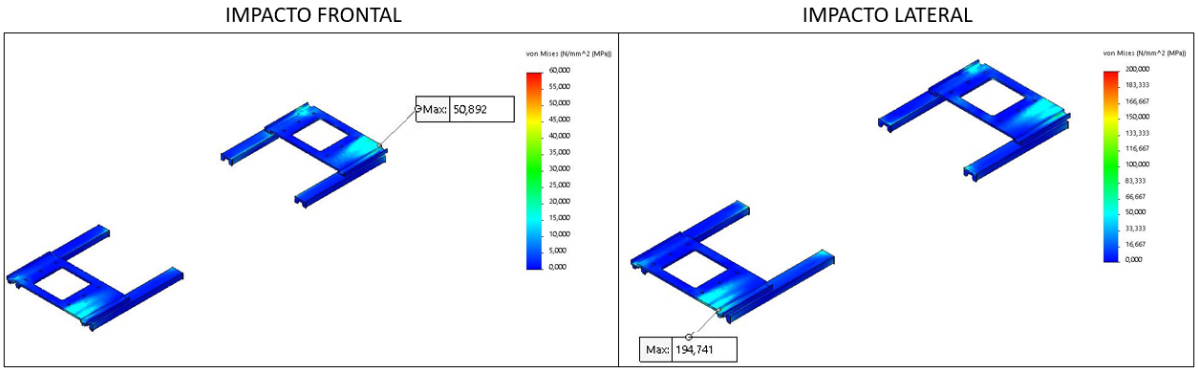


Figura 68 *Tensão de Von Mises*

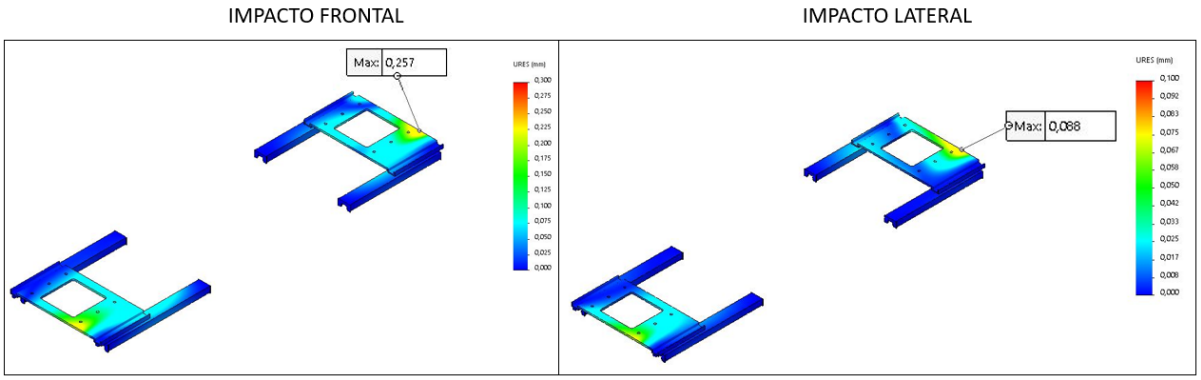


Figura 69 *Campo de deslocamentos*

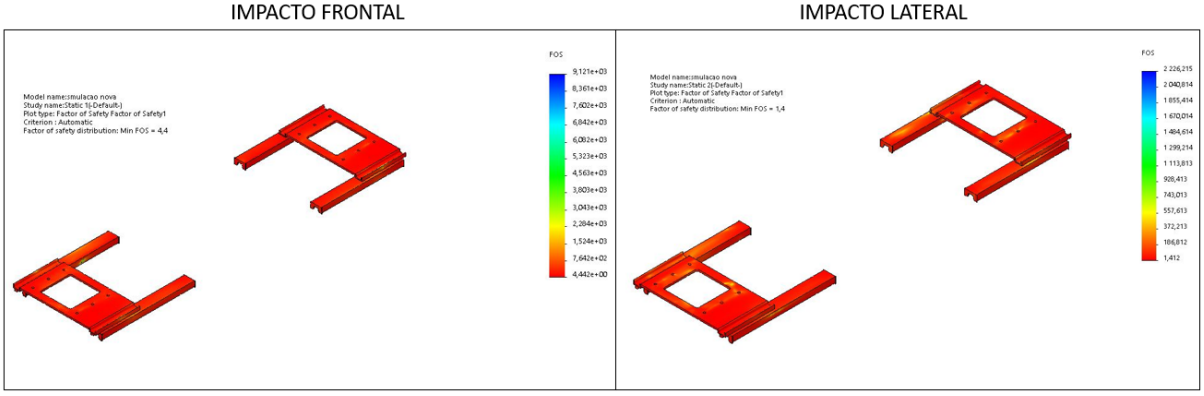


Figura 70 *Fator de segurança*

Com a obtenção dos resultados acima, podemos observar que as tensões máximas se mantiveram com valores aceitáveis e localizadas nas barras que são soldadas ao chassi da viatura e fatores de segurança de 4,4 para impacto frontal e 1,4 para impacto lateral, no que demonstra um sistema seguro e eficiente para aplicação.

Sendo validada a modificação dos reforços de chaparia, agora foi registrada o peso para o conjunto de chaparia modificado, no qual obteve-se o valor de 8,99 kg.

5.7.2 Projeto de melhoria para o sistema do banco encosto de rebater fixo

Como foi possível observar no estudo do banco na secção 5.3 os reforços utilizados para suportar a carga aplicada obtiveram fatores de segurança baixos, tornando assim o sistema não seguro para uma situação de impacto, com isso tornou-se um grande desafio desenvolver um novo sistema que seja leve e capaz de atender aos esforços aplicados.

Para o desenvolvimento deste novo reforço de chaparia, foram avaliados vários modelos até chegarmos no que podemos ver na **Figura 71**, assim como é realizada a fixação do *charriot*, foi idealizado com o mesmo princípio, onde a chapa de fixação ao banco é soldada nas barras que são apertadas entre a chapa do chão de origem da viatura e soldadas ao chassi.

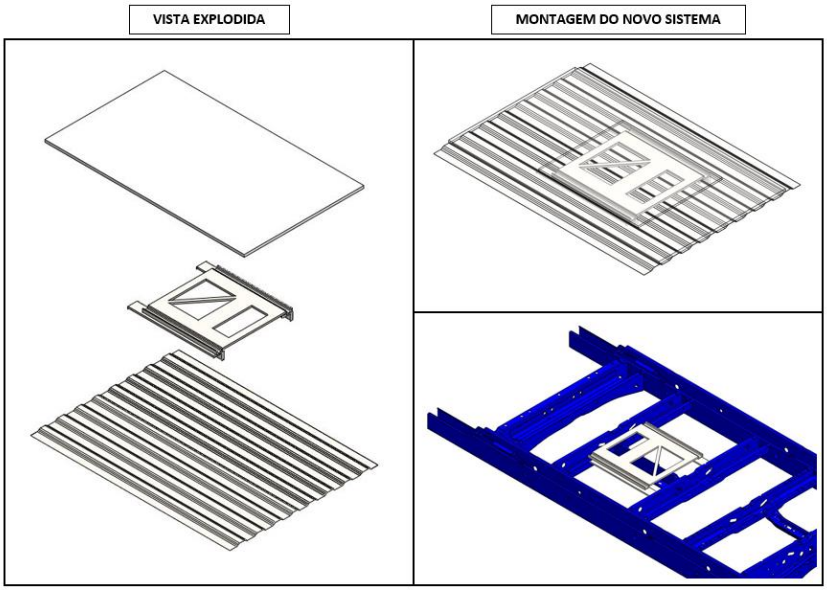


Figura 71 *Apresentação do novo reforço para o banco encosto de rebater fixo*

Para a construção do novo sistema referido anteriormente, foram utilizados os seguintes materiais.

- <u>Chapas</u>

Chapas de espessura de 0.8 (Chão de origem), 8mm (Reforço de chaparia), sendo o seu material de constituição aço de construção S355JR e chapa quinada como cantoneira de espessura 8mm e material de constituição aço de construção S275JR.

- <u>Barras</u>

Barras de perfil U com as dimensões de 30x15x4 mm, sendo o seu material de constituição aço de construção S275JR, de acordo com a norma de material EN 10025.

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 72**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados ao conjunto do novo sistema de reforços do banco encosto de rebater fixo.

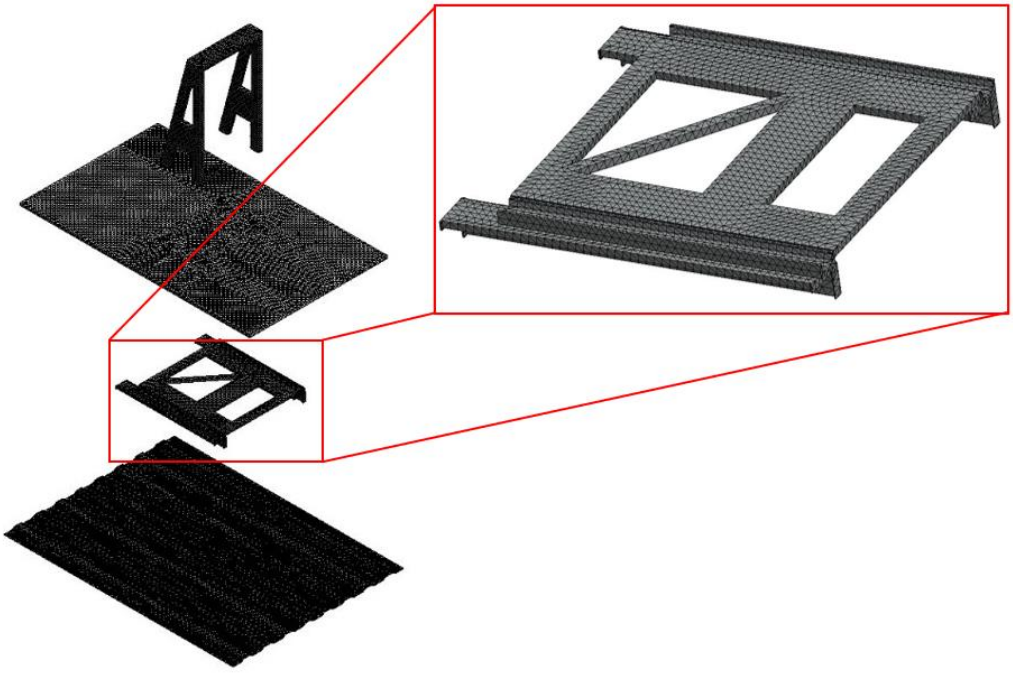


Figura 72 *Malha para os componentes do novo sistema banco encosto de rebater*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 16** a seguir.

Tabela 16 *Parâmetros da malha para o novo conjunto de reforços do banco encosto de rebater fixo*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	9,227 mm
Tolerância	0,461 mm
Número de Nós	361584
Número de Elementos	207795
Qualidade da malha	Alta

Seguidamente nas **Figura 73** a **Figura 75** serão apresentados os resultados obtidos para a tensão de Von Mises, deslocamento e fator de segurança no presente estudo do impacto frontal e lateral.

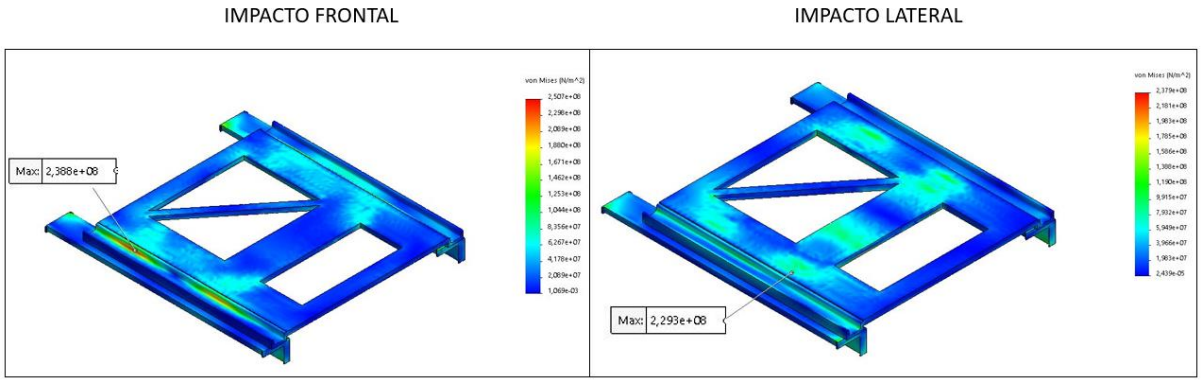


Figura 73 *Tensão de Von Mises*

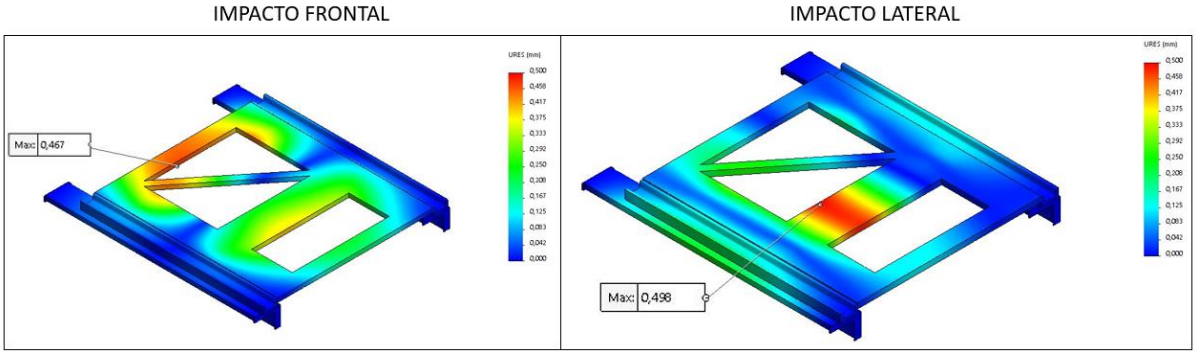


Figura 74 *Campo de deslocamentos*

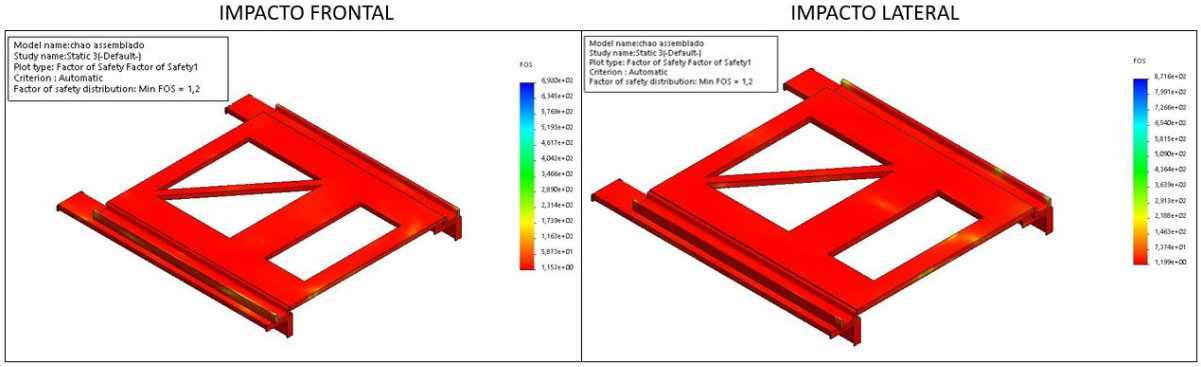


Figura 75 *Fator de segurança*

Com os resultados obtidos anteriormente, observa-se que os reforços de chaparia utilizados para o novo sistema do banco apoio de rebater fixo apresentam maior robustez que o utilizado atualmente, pois como foi visto na secção 5.3, os reforços utilizados não atendiam aos requisitos de segurança e integridade do sistema, apresentando valores de tensão máxima elevados e fatores de segurança baixos.

Com a realização da simulação para o novo sistema proposto, foram apresentados valores de tensão consideráveis e consequentemente fatores de segurança de 1,2 tanto para impacto frontal quanto para o impacto lateral, sendo assim considerado um sistema seguro para este banco.

Contudo, o novo sistema para atender aos requisitos de segurança e suportar os esforços exigidos, apresentaram valores de peso maiores que o utilizado anteriormente, no qual foi calculado um peso total de 10,05 kg.

5.7.3 Projeto de melhoria para o sistema do suporte de soros

Para a realização deste estudo foi pensado em um arranjo mais simples da disposição dos reforços de chaparia para o suporte dos soros, no estudo realizado na secção 5.4 foi possível perceber que o maior stress está localizado ao centro do suporte, então para perceber a diferença de instalação do atual suporte utilizado e o novo arranjo desenvolvido a **Figura 76**, demonstra com mais detalhe essa região.

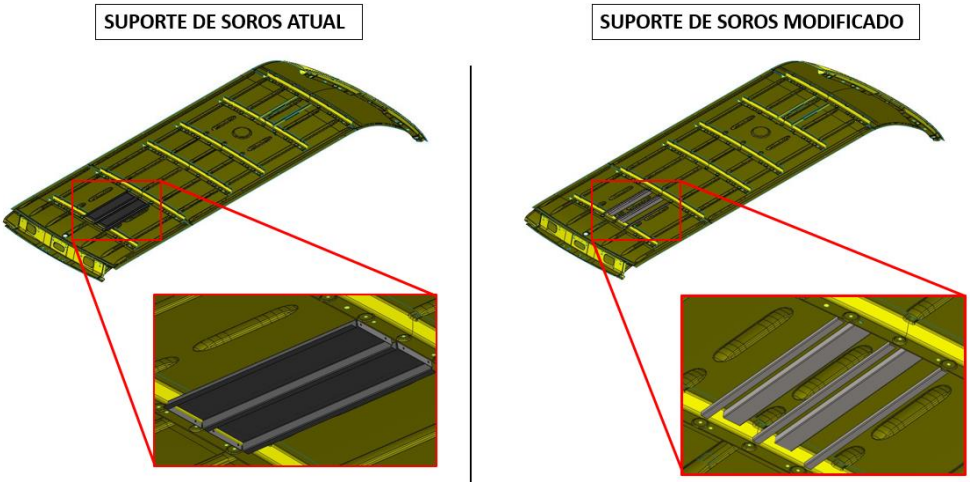


Figura 76 *Apresentação do novo arranjo do suporte de soros*

Para este novo arranjo foram aplicados apenas 2 tubos retangulares de 50x20x1,5 mm soldados entre as travessas do tejadilho e 3 chapas em L, com espessura de 1mm de aço baixo teor de carbono DC01. Os tubos retangulares será onde o suporte de altura dos soros serão apertados e a função das chapas em L são apenas para garantir a rigidez a forra de madeira do tejadilho onde vai encostada.

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 77**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados ao conjunto do novo sistema do suporte de soros.

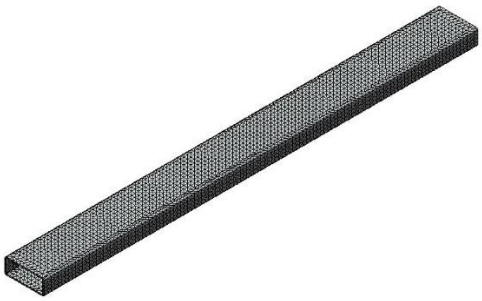


Figura 77 *Malha para os componentes do novo sistema do suporte de soros*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 17** a seguir.

Tabela 17 *Parâmetros da malha para o novo conjunto do suporte de soros*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	4,449 mm
Tolerância	0,222 mm
Número de Nós	66036
Número de Elementos	36227
Qualidade da malha	Alta

Os testes de simulação ao impacto frontal e lateral foram realizados para a avaliação do novo sistema e obtivermos os seguintes resultados apresentados nas **Figura 78** a **Figura 80**.

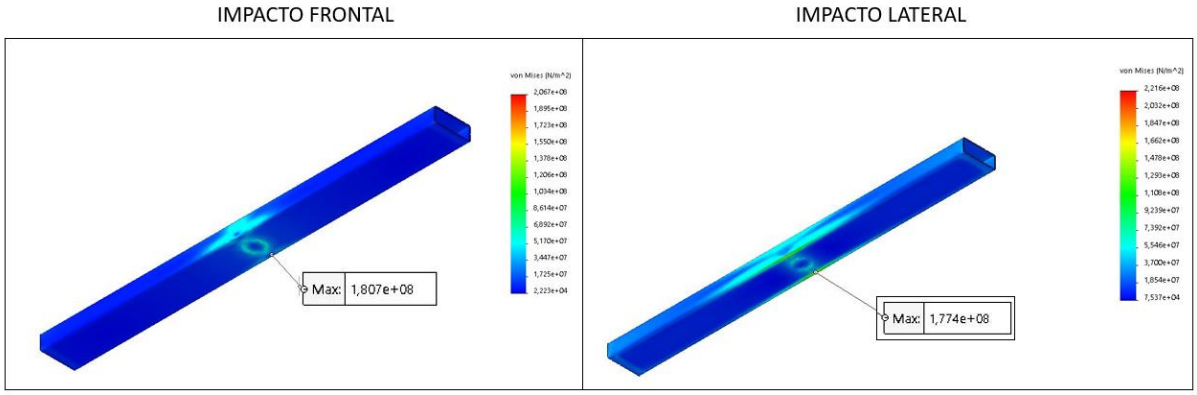


Figura 78 *Tensão de Von Mises*

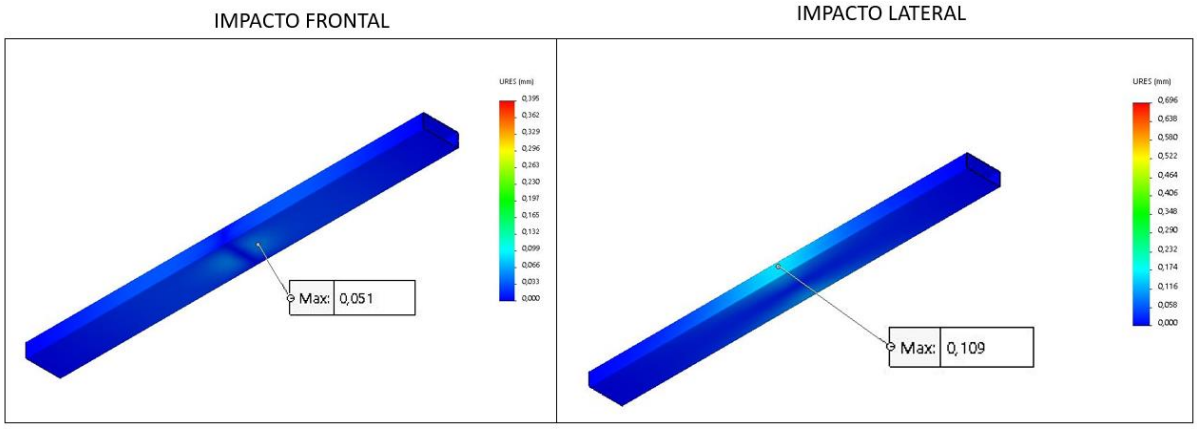


Figura 79 *Campo de deslocamentos*

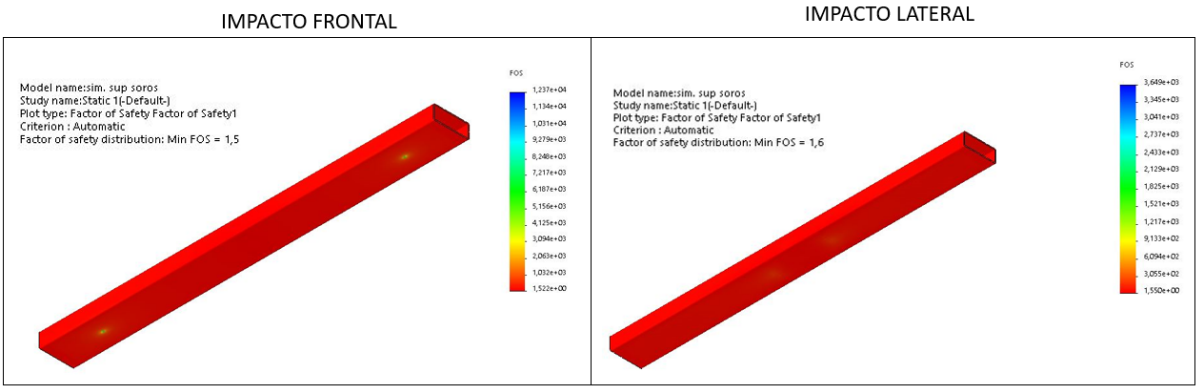


Figura 80 *Fator de segurança*

Com a obtenção dos resultados acima, foi possível observar que as tensões aplicadas para um impacto frontal e lateral para o suporte dos soros, obtiveram valores aceitáveis, no que pode ser percebido também no fator de segurança, onde obtivermos valores de 1,5 para um impacto frontal e 1,6 para impacto lateral, tornando assim o novo sistema valido para a aplicação.

Realizando-se o registo do peso para o conjunto de chaparia modificado, obtivemos um valor de 2,06 kg.

5.7.4 Projeto de melhoria para o chão de madeira

Para a realização do estudo de melhoria do chão de madeira, primeiramente é importante perceber que a principal função do mesmo é de oferecer planicidade ao piso e também acrescenta um pouco mais de resistência, tendo em vista que o chão foi adicionado as simulações onde o mesmo faz parte do sistema, contudo o chão de madeira não é necessário a avaliação de stress sobre ele, tendo em vista que os reforços de chaparia é o que garante a integridade dos sistemas avaliados.

Levando isso em consideração, prosseguimos com a ideia de melhoria do mesmo alterando primeiramente sua composição. Atualmente o chão de madeira é composto por uma placa maciça de Madeira MDF Hidrofugo 12mm, com rebaixos localizados em pontos específicos onde encontra-se os reforços de chaparia, com a utilização do piso atual, temos uma boa planicidade ao piso, contudo por se tratar de uma placa maciça, o chão de madeira possui um peso bastante elevado, no qual calculado o peso total atual do mesmo estima-se um valor de 41,8 kg.

Na **Figura 81**, abaixo pode ser observado o chão de madeira atualmente utilizado.

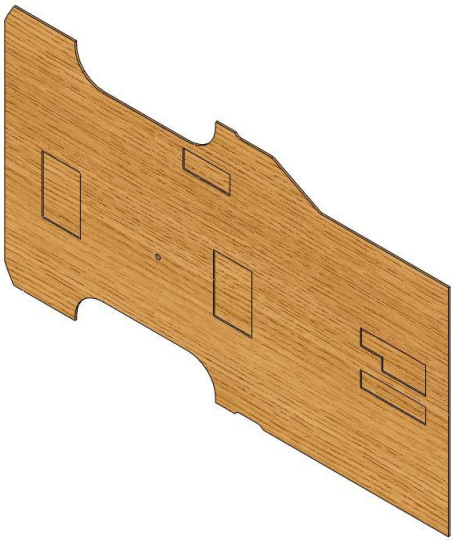


Figura 81 *Chão de madeira atual*

Com isso, foi possível perceber a geometria utilizada para o chão de madeira e procurar soluções para a redução de peso sem interferir na sua principal função, que é garantir uma superfície plana ao piso. Por isso, como alternativa mais leve, será aplicado um chão de madeira onde não apresente uma chapa maciça e sim em forma de camadas tipo sanduiche, onde será composta por uma placa de MDF *standard* com espessura de 3 mm na parte superior, ao meio estaria uma placa de Poliestireno expandido (EPS) com espessura de 10mm e na parte inferior uma placa de contraplacado de madeira de choupo 4mm. Na **Figura 82** a seguir pode ser observada a nova composição para a chapa do chão.

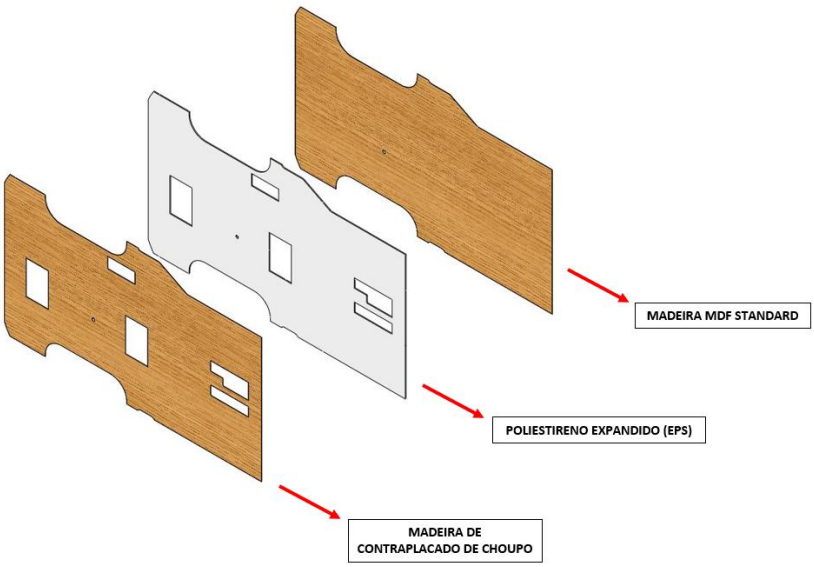


Figura 82 *Composição do novo chão de madeira*

Com a aplicação desta nova composição para o chão de madeira, é de fundamental importância destacar as propriedades de densidade para cada um dos materiais utilizados, apresentado na **Tabela 18** e por fim a soma total do peso para o novo chão.

Tabela 18 *Densidade dos materiais utilizados no novo chão de madeira*

Material	Densidade (kg/m^3)
Madeira MDF Standard 3mm	840
Contraplacado madeira de choupo 4mm	490
Poliestireno expandido 10mm	10

Com a aplicação do novo chão de madeira, será possível garantir uma superfície plana para o piso da viatura e também com a nova disposição apresentada anteriormente, conseguiu-se obter um valor total do peso de 20,4 kg.

5.7.5 Projeto de melhoria para a madeira da divisória

A realizar a avaliação da madeira da divisória, onde como apresentado anteriormente na secção 5.5, pode-se observar que o fator de segurança bastante elevado, no que leva a pensar que o material utilizado que é uma madeira de MDF *Standard* de 16 mm, esta superdimensionada para uma situação de stress de impacto.

Com isto, foi pensado em reduzir a espessura da madeira utilizada e assim diminuir o peso da estrutura, contudo, o óculo da divisória necessita de uma espessura de chapa de 16mm para obter contato e ser fixada, e para isto, foi criado um suporte do óculo da divisória para poder manter a espessura de contato igual ao que é realizado atualmente, na **Figura 83** a seguir podemos perceber melhor como será a nova madeira da divisória.

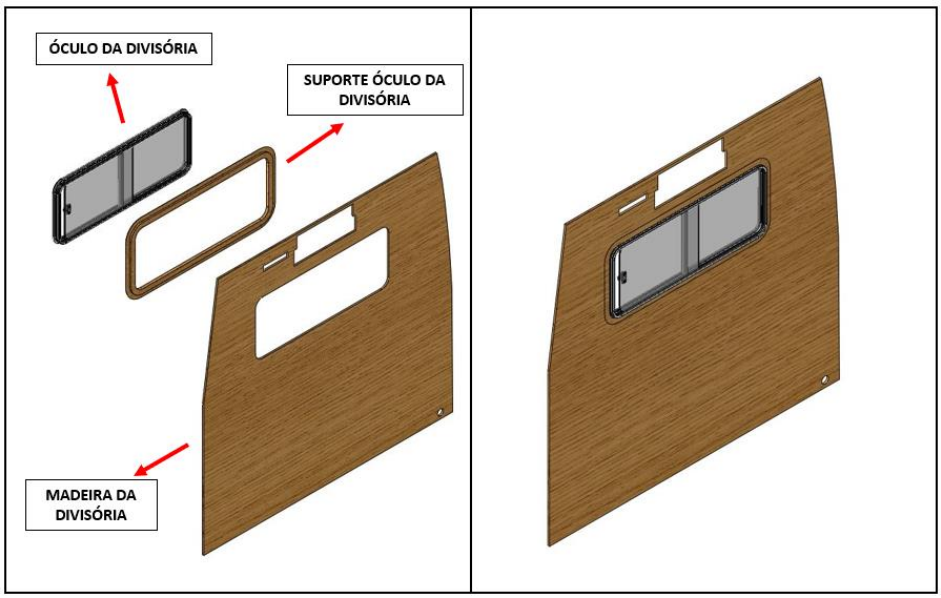


Figura 83 *Montagem da nova madeira da divisória*

Para a nova estrutura, foram utilizados para a madeira da divisória o MDF *Standard* 10mm e o suporte do óculo da divisória também feito em madeira de MDF Standard 16mm, onde foi possível adaptar geometricamente a região de fixação com o óculo da divisória.

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 84**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados a nova divisória de madeira.

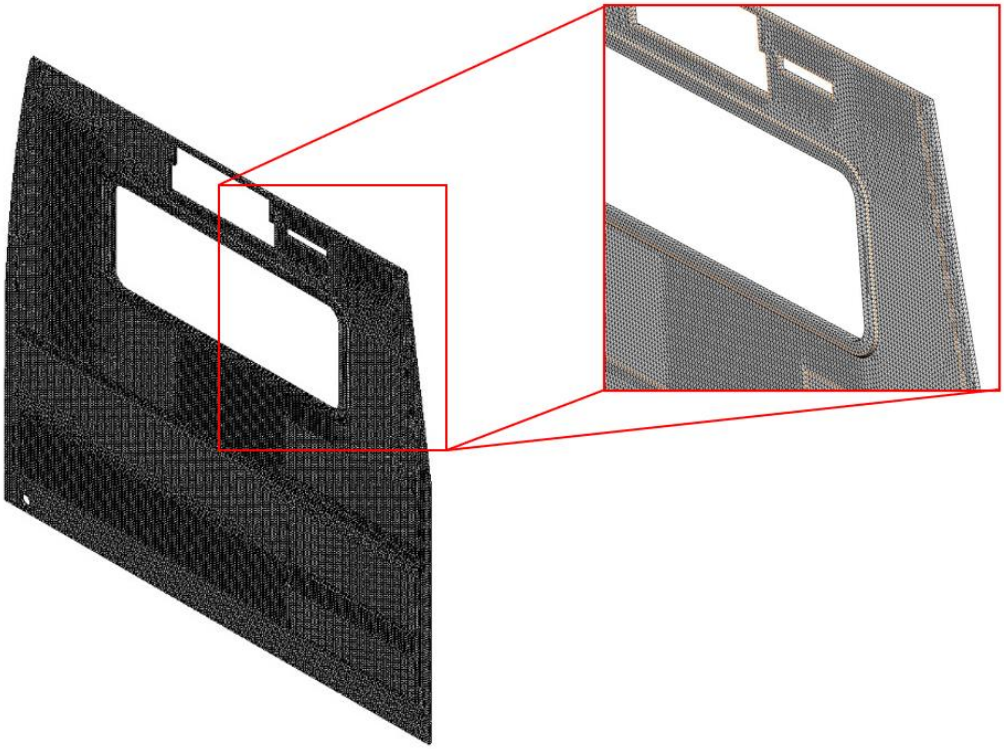


Figura 84 *Malha para a nova divisória de madeira*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 19** a seguir.

Tabela 19 *Parâmetros da malha para a nova divisória de madeira*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	9,737 mm
Tolerância	0,486 mm
Número de Nós	380606
Número de Elementos	209911
Qualidade da malha	Alta

Em seguida, foram realizados os testes de simulação ao impacto frontal, a ser realizado para a avaliação do novo sistema e obtivermos os seguintes resultados apresentados **Figura 85** a **Figura 87**.

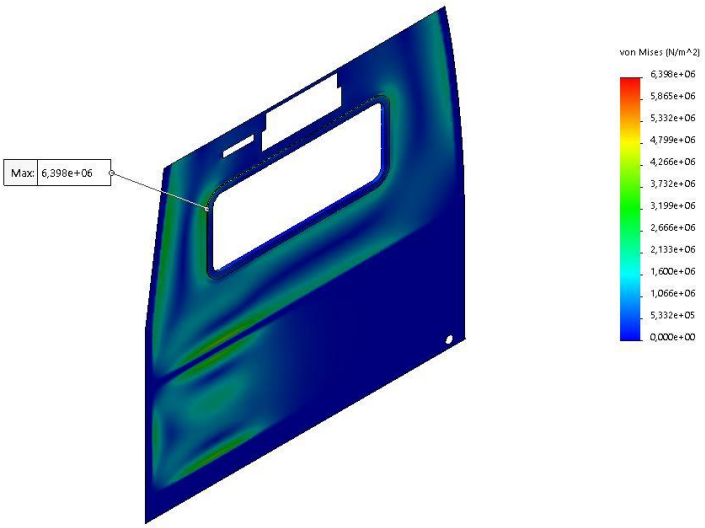


Figura 85 *Tensão de Von Mises*

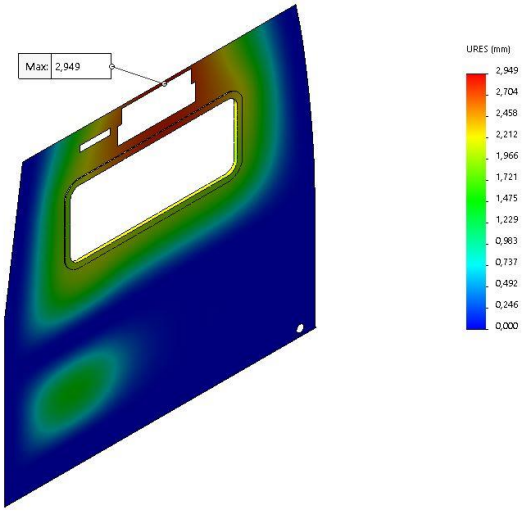


Figura 86 *Campo de deslocamentos*

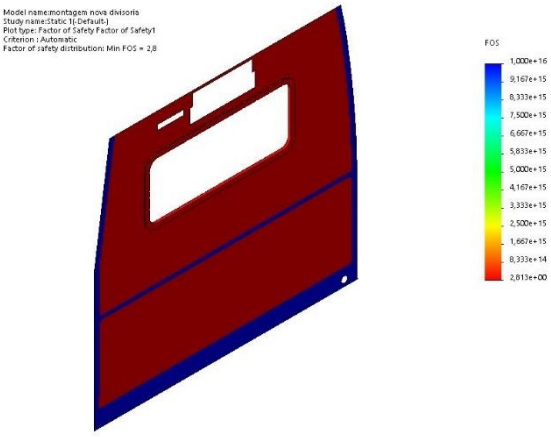


Figura 87 *Fator de segurança*

Com a obtenção dos resultados acima, foi possível observar que as tensões máximas aplicadas para um impacto frontal para a nova madeira da divisória, obtiveram valores aceitáveis, no que pode ser percebido pelo fator de segurança, onde obtivermos valores de 2,8 tornando assim o novo sistema valido para a aplicação.

Por fim, como foi aprovado a nível do teste de impacto, também foi contabilizado o peso total do novo sistema, onde obteve-se o valor de 17,5 kg.

5.7.6 Projeto de melhoria para os armários de teto direito e esquerdo

Finalmente será realizada a avaliação da porta de acrílico utilizado nos armários de teto direito e esquerdo, onde como apresentado anteriormente na secção 5.6, podemos observar que o fator de segurança avaliado apresenta um valor alto, no qual nos dá a liberdade de podermos avaliar uma espessura do material de acrílico menor do que o utilizado atualmente.

Com isto, foi pensado em reduzir a espessura da porta de acrílico e assim diminuir o peso representado pelas 7 portas utilizadas, onde para essa nova avaliação, será aplicado Placa acrílico azul transparente 8mm, como a densidade do acrílico é elevada, pode-se ganhar uma quantidade de peso significativa apenas com essa redução.

Para a determinação da malha aplicada para a simulação computacional, podemos observar na **Figura 88**, a apresentação da malha gerada pelo *SolidWorks* onde serão realizadas as avaliações dos esforços aplicados a nova porta dos armários de teto esquerdo e direito.

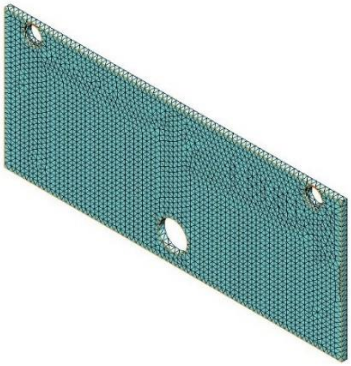


Figura 88 *Malha para a nova porta do armário de teto esquerdo e direito*

Também são apresentadas as características da malha gerada, presente na **Tabela 20** a seguir.

Tabela 20 *Parâmetros da malha para a nova porta do armário de teto esquerdo e direito*

Propriedades da Malha	
Tipo de malha (*SolidWorks*)	*Standard Mesh*
Tamanho do Elemento	7,83 mm
Tolerância	0,391 mm

Número de Nós	37331
Número de Elementos	20390
Qualidade da malha	Alta

Em seguida, foram realizados os testes de simulação ao impacto dos sacos de areia, igualmente como foi realizado a simulação da secção 5.6 e obtivermos os seguintes resultados apresentados nas **Figura 89** a **Figura 91**.

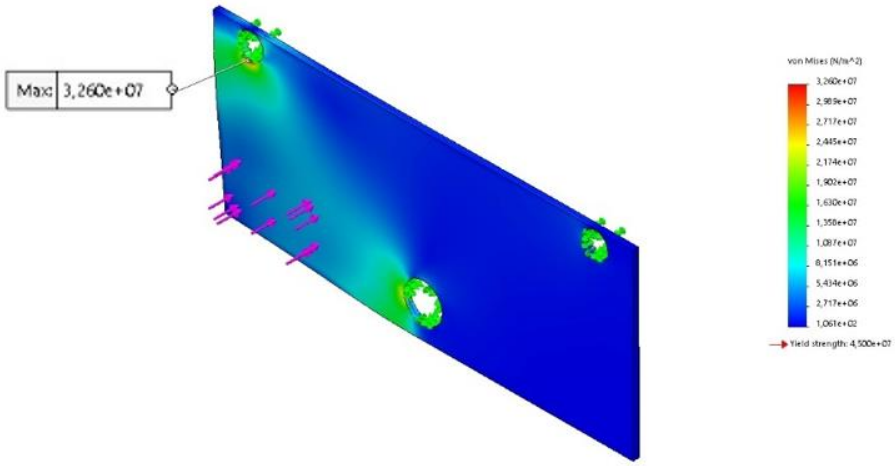


Figura 89 *Tensão de Von Mises*

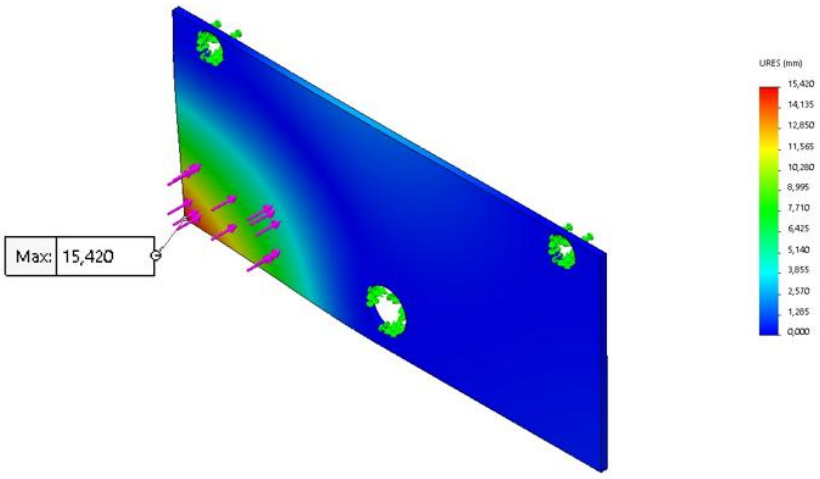


Figura 90 *Campo de deslocamentos*

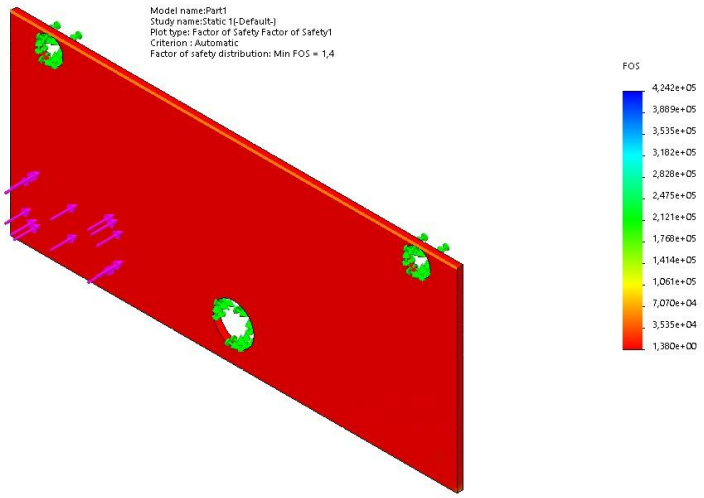


Figura 91 *Fator de segurança*

Os Resultados obtidos mostram que podemos observar as tensões máximas aplicadas na porta de acrílico, onde as mesmas ainda estão localizadas no ponto de fixação superior da porta e apresenta valores a baixo da tensão de ruptura do material, fazendo com que não aconteça de a porta ceder ou quebrar, a garantir que os equipamentos ou acessórios que vão dentro dos compartimentos não sairão dos mesmos.

Observa-se também que o fator de segurança do sistema, apresentou um valor de 1,4 o que nos garante que o sistema se mantenha seguro.

Por último é realizado o registro de peso que está a ser aplicado na viatura representado pelas 7 novas portas de acrílico que são aplicadas aos armários, no qual obtém-se um valor de 9,59 kg.

5.8 Cálculo comparativo do aperfeiçoamento dos sistemas para a redução de peso

Com a realização do estudo descrito anteriormente, podemos perceber que foram realizados primeiramente uma análise para a transformação atual, onde individualmente cada sistema foi testado, apresentado o refinamento da malha utilizada, suas tensões, deslocamentos e fatores de segurança e por fim cada um deles foram pesados, para em seguida serem feitas as mesmas análises, contudo para um novo sistema no que visa apresentar componentes mais leves e que também respeitem os requisitos de segurança para manter a integridade dos sistemas.

Com o objetivo de compilar todos os dados apresentados anteriormente relativamente ao estudo de redução de peso, na **Tabela 21** a seguir, serão apresentados os valores obtidos para cada um dos sistemas, a fim de simplificar e compararmos o quanto foi reduzido em peso.

Tabela 21 *Tabela comparativa dos pesos*

	TRANSFORMAÇÃO ATUAL PESO (Kg)	TRANSFORMAÇÃO NOVA PESO (Kg)
Charriot Manual	13,68	8,99
Banco encosto de rebater	6,72	10,05
Suporte de Soros	3,21	2,06
Chão de Madeira	41,8	20,4
Divisória de Madeira	27,41	17,5
Portas armários de teto Esq./Dir.	12,04	9,59
TOTAL	**104,86**	**68,59**

Com a apresentação resumida dos pesos de cada um dos sistemas avaliados, foi possível avaliar o quanto foi possível reduzir da transformação com as alterações sugeridas no estudo deste projeto, então como apresentado na **Tabela 21** conseguiu-se obter uma redução de **36,27 kg** da transformação avaliada.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO

Neste trabalho de conclusão do mestrado foi-me concedida a oportunidade de trabalhar e estudar um dos problemas enfrentados na construção da transformação de uma ambulância Mercedes Sprinter, do tipo B fabricada pela empresa AR, onde faço parte da equipe do departamento técnico de projetos e com isso foi possível a obtenção das informações e dados de construção que foram fundamentais para a realização dos estudos, cálculos e dimensionamento para as simulações computacionais realizadas através do *software SolidWorks*, no qual é o programa autorizado e utilizado atualmente pela empresa. De notar que, algumas das informações recolhidas não pôde ser revelada ao longo do trabalho, por questões de confidencialidade da própria empresa transformadora.

No desenvolvimento deste trabalho foi destacado a importância das empresas que querem se manter competitivas e apresentar bons produtos ao mercado, onde através do incentivo a pesquisa e tecnologia é possível cada vez mais aprimorar seus processos e resolver problemas enfrentados na sua produção, onde através das simulações computacionais realizadas no desenvolvimento deste projeto, foi possível encontrar soluções e melhorias aos sistemas utilizados atualmente.

O Método dos elementos finitos é sem dúvida a melhor ferramenta numérica para lidar com problemas complexos de engenharia, dando aos usuários a possibilidade de simular processos físicos reais, onde a grande vantagem do uso desta ferramenta é simular o comportamento de um sistema real, a afim de mitigar erros de projeto e permitir soluções efetivas de implementação ao processo estudado e assim reduzir os custos provenientes de testes que são realizados em ambiente industrial com a construção de protótipos.

Também é de fundamental importância destacar que com o desenvolvimento deste projeto, foi possível estudar as normas regulamentadoras aplicadas na avaliação deste projeto, no qual a principal norma avaliada foi a EN 1789, a qual visa aumentar a segurança do paciente e da equipe médica que se encontra dentro da viatura, destacando a importância de garantir que todos os requisitos de segurança exigidos pela norma sejam aplicados ao todos os projetos.

Em jeito de conclusão, na realização deste trabalho de projeto, conseguiu-se analisar alguns dos sistemas de chaparia e carpintaria que fazem parte da transformação da viatura atual e assim encontrar soluções, a fim de atingir o principal objetivo deste projeto, que é a redução de peso. O dimensionamento e avaliação das tensões de Von Mises, campos de deslocamentos e fatores de segurança foram imprescindíveis para estudar o comportamento de cada um dos sistemas e assim apresentar soluções viáveis.

A seguir, serão apresentadas um resumo conclusivo para cada um dos capítulos abordados neste projeto.

6.1 CAPÍTULO 1

No capítulo 1, foi destacado a importância das estruturas veiculares onde atualmente as empresas vêm cada vez mais melhorando os projetos e materiais utilizados nas viaturas a fim de entregar estruturas mais resistentes e seguras para os utilizadores das mesmas; foi também apresentada uma introdução ao método dos elementos finitos, o qual é o principal método utilizado para a avaliação computacional deste projeto e a importância das

simulações computacionais nas indústrias. Uma apresentação da empresa AR, a destacar o seu histórico de fundação e o contexto atual, destacando-se como uma líder nacional no mercado de transformação de carroçarias.

Apresentada a explicação do problema enfrentado na transformação da ambulância mencionada no início da conclusão deste trabalho, e que levou a ideia da realização deste projeto e por fim, desenvolvido os objetivos que devem ser alcançados na realização deste projeto.

6.2 CAPÍTULO 2

No capítulo 2, foi apresentado o contexto histórico do surgimento das primeiras ambulâncias e o desenvolvimento até chegarmos nas modernas ambulâncias atuais. Também foi apresentado os tipos de ambulâncias hoje utilizadas, os quais diferem tanto em sua função quanto na quantidade de doentes que serão transportados. Foi também destacado como o método dos elementos finitos funciona, a destacar os procedimentos de solução necessários, os cálculos e funções matemáticas utilizadas para a resolução dos problemas, importantes para se perceber os conceitos de utilização e aplicação das simulações computacionais.

6.3 CAPÍTULO 3

No capítulo 3, foram abordadas as normas regulamentares utilizadas para a avaliação deste projeto, onde foi possível determinar alguns parâmetros necessários para os cálculos dos pesos que serão avaliados no decorrer do trabalho e também perceber quais os requisitos que devem ser atendidos para garantir o cumprimento das exigências de segurança e também como é realizado o teste prático do *crash test*.

6.4 CAPÍTULO 4

No capítulo 4, foram apresentados alguns indicadores de chaparia e carpintaria, no que diz respeito a distribuição dos pesos destes setores dentro das transformações fabricadas, no qual foi de fundamental importância para se perceber o quanto esses setores influenciam a nível de peso dentro das transformações que são fabricadas. Em seguida, foi apresentado o layout da transformação selecionada para o estudo deste projeto, no qual foi possível perceber todos os componentes que fazem parte desta transformação; foi destacado o peso em excesso que deve ser reduzido para a viatura protótipo, no valor de 35,5 kg, para assim serem selecionados os sistemas críticos a nível de peso e que foram analisados via simulação computacional, destacando-se também o diagrama de forças que foram aplicados aos sistemas em uma situação de impacto com acelerações ou desacelerações de 10g.

6.5 CAPÍTULO 5

No capítulo 5, foram realizadas as simulações computacionais dos sistemas selecionados no capitulo 4, onde primeiramente foram avaliados as tensões de Von Mises, campos de deslocamentos e fator de segurança para os sistemas utilizados atualmente, a ser possível perceber o comportamento dos mesmos quando submetidos a situações de impacto frontal e lateral, com isso foi possível perceber que alguns dos sistemas obtiveram fatores de segurança elevados, no que determina projetos superdimensionados, sendo assim, foi possível desenvolver sistemas mais leves e que também garantam segurança e integridade para a funcionabilidade dos mesmos. Contudo, para um dos sistemas avaliados foi identificado fatores de segurança baixos e tensões elevadas no reforço, que foi o do banco encosto de rebater, onde para este caso, não foi possível desenvolver um reforço que fosse mais leve, contudo, o novo sistema que foi desenvolvido, garante um fator de segurança para

o sistema aceitável e deve assim garantir integridade ao conjunto. Por fim, foi feito um resumo dos pesos encontrados para cada um dos sistemas e foi calculado um valor de redução de peso de 36,27 kg em comparação aos sistemas atualmente utilizados, a fazer assim, com que a viatura protótipo que se encontrava com um peso elevado de 35,5 kg, entre dentro dos parâmetros exigidos de peso.

6.6 TRABALHO FUTURO

Como trabalho futuro e em continuação deste trabalho, poderiam ser estudadas outras transformações em que também de certa forma apresentam pesos elevados, como também serem avaliados outros sistemas diferentes aos que foram estudados neste projeto, a fim de uma maneira mais geral reduzir ainda mais o peso das transformações.

Também pode ser estudado o desenvolvido ou aplicação de novos materiais alternativos aos utilizados atualmente, como exemplo a utilização de algum material polimérico ou compósito mais leve em substituição aos armários de madeira, verificando-se também as vantagens e desvantagens que este ofereceria.

Poderão também ser realizados estudos aos sistemas avaliados com outros programas de simulação, como por exemplo o *ANSYS*, de modo a determinar se existem melhores métodos e a comparar os resultados com os já obtidos.

Por último, poderá ser efetuado um acompanhamento da fabricação da transformação da viatura sugerida para este trabalho, e assim ser realizado uma avaliação real de *crash test,* para assim serem recolhidas as informações relevantes decorrentes aos resultados encontrados na realidade e assim comparar com os apresentados neste trabalho, registrar as dificuldades encontradas e distinções apresentadas, a fim de tornar uma constante de melhoria dos sistemas e ajustar a melhor disposição para a transformação da viatura.

Referências

Auto Ribeiro (AR) Transformação de veículos. Disponível em: https://autoribeiro.com/. Acesso em 08/2022.

Auto Ribeiro (AR) / Equipment. Disponível em https://arequipment.com/products/. Acesso em 09/2022.

Dagol, O fabuloso mundo do vidro acrílico. Disponível em: https://www.dagol.com/portfolio-item/vidro-acrilico-vazado/. Acesso em 09/2022

EPS-Tecnovite. Disponível em: https://www.obras360.pt/resources/fichastecnicas/0010030309bl/Ficha%20T%C3%A9cnica%20-%20Esferovite%20em%20Painel%20EPS-STD%20(10%20kg%20m3).pdf. Acesso em 09/2022

Ferrari D. História da ambulância. Revista Intensiva. 2006;4:132.

G. P. Nikishkov, Introduction to the finite element method, University of Aizu-Wakamatsu, 2004.

Gavex Produtos Siderúrgicos, S.A. Disponível em: https://www.gavex.pt/html_74.htm. Acesso em 08/2022

Hansen, U. (2020). Finite Element Analysis and Applications Lecture Notes.

Lai, W. M., Rubin, D., Krempl, E., “Introduction to Continuum Mechanics”, Butterworth-Heinemann, 1993.

Malvern, L. E., “Introduction to the Mechanics of a Continuous Media”, Prentice- Hall, 1969.

Matsumoto A. T., Estudo do desempenho de reforços poliméricos em estruturas veiculares submetidas a impacto, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

Make It From. Disponível em https://www.makeitfrom.com/material-properties/Medium-Density-Fiberboard-MDF. Acesso em 09/2022

Mercedez-Bens, Dados técnicos, dimensões e peso do Sprinter Furgão. Disponível em: https://www.mercedes-benz.pt/vans/pt/sprinter/panel-van/technical-data. Acesso em 09/2022

National Association of Emergency Medical Technicians. PHTLS. Atendimento pré-hospitalar ao traumatizado: básico e avançado. Rio de Janeiro: Elsevier; 2004.

Norma Europeia EN 1789 de setembro de 2020. European Committee for standardization.

Norma Europeia EN 1865 de outubro de 2010. European Committee for standardization.

Nunes P.E., Ambulância. Invenções do século. Disponível em: Ambulância | Invenções dos Séculos XVIII-XIX (invencoesseculoxix.blogspot.com). Acesso em 06/2022.

Orlando J. B. A. Pereira, Introdução ao método dos elementos finitos na análise de problemas planos de elasticidade, Instituto superior técnico, 2005.

Pederneiras G., Simulação na Industria 4.0. Ind. 40 Manufatura Avançada, 2019. Disponível em: Como fazer Referência Bibliográfica de Site: normas ABNT, TCC e exemplos (projetoacademico.com.br). Acesso em 06/2022

Pompeo G., História da medicina: a Origem das Ambulâncias. Saúde Inova. Disponível em: História da Medicina: a origem das Ambulâncias / Blog Jaleko. Acesso em 06/2022.

Regulamento (UE) Nº 1230/2012 da comissão de 12 dezembro de 2012. Parlamento e conselho europeu para requisitos de homologação para massa e dimensão de veículos a motor e seus reboques.

Samahá F., Como São feitos os ensaios de acidentes, que seguem vários padrões para mensurar como o automóvel protege os ocupantes. Disponível em: https://autolivraria.com.br/bc/mais/tecnica/crash-testes-de-colisao-carros-batem-pela-sua-seguranca/. Acesso em 07/2022.

Silva S.A.M, André Luis Christoforo, Raquel Gonçalves, Francisco Antonio Rocco Lahr, Strength Properties of Medium Density Fiberboards (MDF) Manufactured with Pinus Elliottii Wood and Polyurethane Resin Derived from Castor Oil, International Journal of Composite Materials, Vol. 3 No. 1, 2013, pp. 7-14. doi: 10.5923/j.cmaterials.20130301.02.

Silva E. A. C., Tipple A.F.V., Souza J.T., Brasil V.V., Aspectos históricos da implantação de um serviço de atendimento pré-hospitalar, Revista eletrônica de Enfermagem, 2010.

SimScale (2017). What is Convergence in Finite Element Analysis? Disponível em: https://www.simscale.com/blog/2017/01/convergence-finite-element-analysis. Acesso em 07/2022

Sharma Prakhar., Why should the sum of shape functions be equal to one in FEM?. Disponível em: https://prakhar962.wordpress.com/2020/06/03/why-should-the-sum-of-shape-functions-be-equal-to-one-in-fem/. Acesso em 09/2022

Stamm H., Simulação Industrial: Uma avaliação de sua utilização no sudeste e sul do Brasil., UFSC Pró-reitoria, 1998

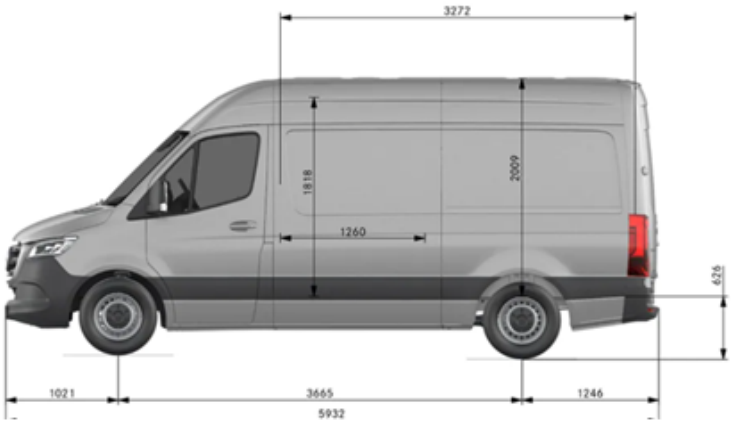
Valbopan MDF. Disponível em: https://www.banema.pt/pt/produtos/paineis-de-madeira/mdf/mdf-hidrofugo/. Acesso em 08/2022.

Vinco Lontana Group. Disponível em: https://www.vinco.es/pt/pdf/fita/aco-baixo-teor-carbono/laminado-a-frio/. Acesso em 08/2022

ANEXO A: Dados técnicos, dimensões e pesos do Sprinter furgão

Dimensões e pesos.

Comprimento de veículo	Tipo de teto
Standard	Teto alto
Peso máximo autorizado	**Tração**
3.500 kg	Tração traseira



Standard com teto alto, 3500 kg, tração traseira

Peso em vazio [kg] com peso máximo autorizado[1]	2130 - 2356
Carga útil [kg] com peso máximo autorizado	1144 - 1370
Peso bruto com reboque [kg]	5500
Carga máxima no tejadilho [kg] | Capacidade do reboque com/sem travão [kg]	150 | 2000/750
Altura do veículo [mm] | Comprimento do veículo [mm] | Largura do veículo com espelhos retrovisores exteriores rebatidos [mm]	2835 | 5932 | 2175
Comprimento do compartimento de carga [mm] | Comprimento do piso do compartimento de carga desde os bancos dianteiros [mm]	3272 | 3375
Largura máxima do compartimento de carga | Largura do compartimento de carga entre os cárteres das rodas [mm]	1787 | 1350
Altura do piso do compartimento de carga [mm]	626
Área de carga [m^2] | Volume de carga [m^3]	5,081 | 10,5
Diâmetro de viragem carroçaria Ø [m] | roda exterior Ø [m]	13,4 | 12,4

Motor e desempenho

Motor	OM651 DE22LA
Norma de emissões	Euro 6c Gr. III
Número de cilindros/disposição	4
Cilindrada (cm^3)	2143
Potência nominal (kW) / (CV)[1]	84 / 114
a rpm	3800
Binário nominal (Nm) [1]	300
a rpm	1200 - 2200
Caixa de velocidades manual (série)	Caixa de 6 velocidades ECO Gear 360
Caixa de velocidades automática (opcional)	7G-TRONIC PLUS
Tipo de combustível[2]	Diesel
Volume do depósito (l) (série)[3]	71
Tração	Tração traseira

ANEXO B: Características técnicas para o aço de baixo teor de carbono – DC01

VINCO Lontana Group

C/Bizkargi, 6 | Pol. Ind. Sarrikola | E-48195 LARRABETZU | Bizkaia - SPAIN

www.vinco.es

Aço baixo teor carbono: Laminado a frio

Composição química

Classificação simbólica	Classificação numérica	Norma Europeia (EN)	Composição química							
			C	Si	Mn	p	S	Ti	Al	Nb
DC01	1.0330	EN 10130 / EN 10139	≤ 0,12	-	≤ 0,60	≤ 0,045	≤ 0,045	-	-	-
DC03	1.0347	EN 10130 / EN 10139	≤ 0,1	-	≤ 0,45	≤ 0,035	≤ 0,035	-	-	-
DC04	1.0338	EN 10130 / EN 10139	≤ 0,08	-	≤ 0,4	≤ 0,03	≤ 0,03	-	-	-
DC05	1.0312	EN 10130 / EN 10139	≤ 0,06	-	≤ 0,35	≤ 0,025	≤ 0,025	-	-	-
DC06	1.0873	EN 10130 / EN 10139	≤ 0,02	-	≤ 0,25	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,3	-	-
HC260LA	1.0480	EN 10268	≤ 0,100	≤ 0,50	≤ 0,60	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,150	≥ 0,015	-
HC420LA	1.0556	EN 10268	≤ 0,100	≤ 0,50	≤ 1,60	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,150	≥ 0,015	≤ 0,090
11SMn30	1.0715	EN 10087	≤ 0,14	≤ 0,05	0,90 - 1,30	≤ 0,11	0,27 - 0,33	-	-	-

Equivalências

Classificação simbólica	Classificação numérica	Norma Europeia (EN)	Equivalências internacionais aproximadas					
			EUA (AISI)		Japão (JIS)		China (GB)	
DC01	1.0330	EN 10139	DC01	A366	SPCC	G3141	1008	GB/T 5213
DC03	1.0347	EN 10139	DC03	A619	SPCD	G3141	1006	GB/T 5213
DC04	1.0338	EN 10139	DC04	A620	SPCE	G3141	1006	GB/T 5213

* Os dados contidos no presente website são meramente informativos e não constituem, em caso algum, condições contratuais de fornecimento. Salvo erro ou omissão.

VINCO Lontana Group

C/Bizkargi, 6 | Pol. Ind. Sarrikola | E-48195 LARRABETZU | Bizkaia - SPAIN

www.vinco.es

Classificação simbólica	Classificação numérica	Norma Europeia (EN)	Equivalências internacionais aproximadas					
			EUA (AISI)		Japão (JIS)		China (GB)	
DC05	1.0312	EN 10139						
DC06	1.0873	EN 10139						
HC260LA	1.0480	EN 10268						
HC420LA	1.0556	EN 10268						
11SMn30	1.0715	EN 10087	Y15	A29	SUM 22	G 4804	1213	GB/T 8731

Características mecânicas

PROPRIEDADES MECÂNICAS E REQUISITOS DE DUREZA EN 10130 / EN 10139 2)

Classificação simbólica	Classificação numérica	Condição de fornecimento	Símbolo	Re N/mm^2	Rm N/mm^2	Alargamento de rutura (% mín.)	Dureza HV	
						A_{80}	mín.	máx.
DC01	1.0330	Leve passagem de têmpera	LC	máx. 280	270 - 410 3)	28 1) 3)	-	115 3)
		Temperado	C290	200 - 380	290 - 430	18	95	125
			C340	mín. 250	340 - 490	-	105	155
			C390	mín. 310	390 - 540	-	117	172
			C440	mín. 360	440 - 590	-	135	185
			C490	mín. 420	490 - 640	-	155	200
			C590	mín. 520	590 - 740	-	185	225
			C690	mín. 630	mín. 690	-	215	-
DC03	1.0347	Leve passagem de têmpera	LC	máx. 240 3)	270 - 370 3)	34 1) 3)	-	110 3)
		Temperado	C290	210 - 355	290 - 390	22	95	117
			C340	mín. 240	340 - 440	-	105	130
			C390	mín. 330	390 - 490	-	117	155
			C440	mín. 380	440 - 540	-	135	172
			C490	mín. 440	490 - 590	-	155	185

* Os dados contidos no presente website são meramente informativos e não constituem, em caso algum, condições contratuais de fornecimento. Salvo erro ou omissão.

ANEXO C: Características técnicas para o aço S235JR / S275JR / S355JR

UK & International Equivalent Grades

Designation		Equivalent Former Designations in													
EN 10025: 1993 Designation		According EN 10025:1990	Germany Din 17100	France NFA 35501	UK BS4360	Spain	Italy	Belgium	Sweden	Portugal	Austria	Norway NS12101	USA ASTM	USA API	Japan JIS G3101/6
Steel Name	Steel Number														
S185	1.0035	Fe 310-0	St 33	A33		A3 10-0	Fe 320	A320	13 00-00	Fe 310-00	St 320				
S235JR	1.0037	Fe 360B	St 37-2	E24-2			Fe 360B	AE 235-B	13 11-00	Fe 360-B		NS 12 120	A283 GrC		
S235JRG1	1.0036	Fe 360BFU	U St 37-2			AE 235 B-FU					U St 360 B	NS 12 122	A283 GrD		SM41A
S235JRG2	1.0038	Fe 360 BFN	R St 37-2		40B	AE 235 B-FN			13 12-00		R St 360 B	Ns 12 123			SM41B
S235JO	1.0014	Fe 360c	St 37-3U	E 24-3	40C	AE 235 D	Fe 360C	Ae 235-C		Fe 360-C	St 360 C	St 430 B			
											St 360CE	NS 12 142			
S235J2G3	1.0116	S Fe 360 D1	St 37-3N	E 24-4	40D		Fe 360D	AE 235-D		Fe 360-D	St 360D	NS 12 124			
S234J2G4	1.0117	Fe 360 D2													
S275JR	1.0044	Fe 430B	ST 44-2	E 28-2	43B	AE 275 B	Fe 430 B	AE 255-B	14 12-00	Fe 430 B	ST 430 B	NS 12-142	A573 Gr65		SS400
S275JO	1.0143	Fe 430C	ST 44-3U	E 28-3	43C	AE 275 C	Fe430 C	AE 255-C		Fe 430 C	St 430 C	NS 12-143			
											ST 430 CE				
S275J2G3	1.0144	Fe 430D1	ST 430 D1	E 28-4	43D	AE 275 D	Fe 430 D	AE 255-D	14 14-00	Fe 430 D	ST 430 D	NS 12-143	A633 Gr42	2H GR42	
S275J2G4	1.0145	Fe430D2							14 14-01						
S355JR	1.0045	Fe 510 B		E 36-2	50B	AE 355B	Fe 310B	AE 355B		Fe 510-B			A572Gr50		SS490
S355JO	1.0553	Fe 510 C	ST 52-3U	E 36-3	50C	AE 355C	Fe 310C	AE 355C		Fe 510C	St 510C	NS 12 153	A709Gr50	2H Gr 50	
S355J2G3	1.0570	Fe 510 D1	ST 52-3N		50D	AE 355D	Fe 310D	AE 355D		Fe 510-D	St 510D	NS 12 153	A678 Gr50	2W/YGr50	
S355J2G4	1.0577	Fe 510 D2													
S355K2G3	1.0595	Fe 510 DD1		E36-4	50DD			AE355DD		Fe 510DD			A533GrD		
S355K2G4	1.0596	Fe 510 DD2			50DD										
E 295	1.0050	Fe 490-2	ST 50-2	A 50-2		A 490	Fe 490	A 490-2	15 50-00	Fe 490-2	St490				
									15 50-01						
E355	Fe 590-2	St 590-2	St 60-2	A 60-2		A590	Fe 580	A590-2	16 50-00	Fe 590-2	St 590				
									16 50-01						
E360	1.0070	Fe 690-2	St 70-2	A 70-2		A690	Fe 650	A690-2	16 55-00	Fe 690-2	St 590				
									16 55-01						

http://www.crusherspares.com/strata-steels/charts.php

HOME | A EMPRESA | PRODUTOS | SERVIÇOS | EMBALAGENS | TABELAS | CONTACTOS | ENGLISH

ESTRUTURAIS

"Os aços estruturais são usados principalmente no sector da construção, obras públicas e construções mecânicas. As principais aplicações incluem componentes de construção, contentores, tanques de armazenagem e perfis. Estes aços, mostram boa soldabilidade com métodos convencionais. As suas boas características mecânicas mantêm valores muito aceitáveis na tenacidade."

Tabelas das Dimensões

Tipo de Material		Tipo de Corte	Espessura [mm]	Largura [mm]	Comprimento [m]
Laminado a quente Espessuras ≤ 10 mm	S235JR S275JR S355JR S355JO	Banda	1.50 – 6.00	25 – 1600	--
		Formato	1.50 – 2.50	350 – 1500	≤ 10.0
			3.00 – 10.00	350 - 2000	

Composição Química

	C (%)		P (%)	Mn (%)	S (%)	Si (%)	N (%)	Cu (%)
	e ≤ 16 [mm]	16 < e≤ 40 [mm]	–	–	–	–	–	–
S235JR	≤ 0,17	≤ 0,17	≤ 0,035	≤ 1,40	≤ 0,035	–	≤ 0,012	≤ 0,55
S275JR	< 0,21	< 0,21	< 0,035	< 1,50	< 0,035	–	< 0,012	< 0,55
S355JR	≤ 0,24	≤ 0,24	≤ 0,035	≤ 1,60	≤ 0,035	≤ 0,55	≤ 0,012	≤ 0,55
S355JO	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,030	≤ 1,60	≤ 0,030	≤ 0,55	≤ 0,012	≤ 0,55

e - espessura

Características Mecânicas

	Re (MPa)				Rm (MPa)	A5 (%)
	e ≤ 16 [mm]	16 < e ≤ 40 [mm]	40 < e ≤ 63 [mm]	63 < e ≤ 80 [mm]	3 ≤ e ≤ 100 [mm]	3 ≤ e ≤ 40 [mm]
S235JR	≥ 235	≥ 225	≥ 215	≥ 215	360 – 510	≥ 26
S275JR	≥ 275	≥ 265	≥ 255	≥ 245	410 – 560	≥ 23
S355JR	≥ 355	≥ 345	≥ 335	≥ 325	470 – 630	≥ 22
S355JO	≥ 355	≥ 345	≥ 335	≥ 325	470 – 630	≥ 22

e - espessura

ANEXO D: Características técnicas para o vidro de acrílico

dagol®
O Fabuloso Mundo do Vidro Acrílico

Vidro Acrílico Vazado

Sessenta vezes mais resistente ao impacto que o vidro, mais leve e 25% mais isolante. Tem uma excelente resistência as intempéries. Bom isolante térmico, acústico e elétrico.

As características destas chapas conseguem responder a todas as necessidades na área da construção, industria, decoração, iluminação, publicidade, etc.

Destacam-se como principais características, a sua transparência (transmissão de luz de 93% para as placas incolores) e a sua resistência ao impacto.

Resistem aos raios U.V., dispõem de uma boa estabilidade térmica e de uma baixa absorção de água.

Permitem a aplicação da maioria das técnicas de manipulação e molde, criando originais e atrativas peças.

Transparente, Opalinas ou Cores

Espessuras: 1 a 150 mm

Aplicações: Construção, reclamos luminosos, publicidade, claraboias, coberturas, decoração, iluminação, expositores, sanitários, displays, etc.

dagol®
O Fabuloso Mundo do Vidro Acrílico

Medidas

	Cristal	Opal	Cores
2 m/m	2000 x 1250 m/m 2030 x 1520 m/m 3050 x 2030 m/m	2000 x 1250 m/m 2030 x 1520 m/m 3050 x 2030 m/m	2030 x 1520 m/m 3050 x 2030 m/m
3 m/m	2000 x 1250 m/m 2030 x 1520 m/m 2550 x 2030 m/m 3050 x 2030 m/m	2000 x 1250 m/m 2030 x 1520 m/m 2550 x 2030 m/m 3050 x 2030 m/m	
4 m/m			
5 m/m			
6 m/m			
8 m/m			
10 m/m			
12 m/m	2000 x 1250 m/m 2030 x 1520 m/m 3050 x 2030 m/m	2000 x 1500 m/m 3000 x 2000 m/m	
15 m/m			
20 m/m			
25 m/m			
30 m/m	2000 x 1200 m/m 2030 x 1220 m/m 3000 x 2000 m/m		2000 x 1200 m/m
40 m/m	2000 x 1200 m/m 2020 x 1320 m/m 2030 x 1520 m/m 3050 x 2030 m/m		
50 m/m	2000 x 1200 m/m 2020 x 1320 m/m 2030 x 1326 m/m		
60 m/m	2000 x 1200 m/m 2000 x 600 m/m 2020 x 1320 m/m 1200 x 1000 m/m		
80 m/m			
100 m/m	1200 x 1000 m/m		
120 m/m	1000 x 1000 m/m		
150 m/m			

dagol®
O Fabuloso Mundo do Vidro Acrílico

Características Técnicas

Características	Método	Unidade	Cast
Gerais			
Densidade	ISO 1183	g/cm³	1,20
Rigidez Rockwell	ISO 2039-2	Escala M	105
Ópticas			
Transmissão luminosa	ISO 13468-1	%	93
Índice de refracção	ISO 489	N^{D}_{20}	1.492
Mecânicas			
Coeficiente de curvatura	ISO 178	MPa	3000
Resistência à curvatura	ISO 178	MPa	125
Coeficiente de tracção	ISO 527	MPa	3300
Resistência à tracção	ISO 527	MPa	75
Dilatação	ISO 527	%	6
Térmicas			
Temperatura Vicat(VST/B 50)	ISO 306	⁰C	115
Temperatura de deformação térmica (A)	ISO 75	⁰C	105
Capacidade térmica especifica	ISO 3146 – C 60⁰ C	J/g.K	2,16
Coeficiente de dilatação térmica linear	ISO 11359-2	$K^{-1} X 10^{-5}$	7
Condutibilidade térmica	DIN 52612	W/m.k	0,19
Temperatura de degradação		⁰C	> 280
Temperatura máxima de uso continuo		⁰C	80
Temperatura máxima de uso durante período curto		⁰C	90
Temperatura de molde		⁰C	160-190
Resistência ao impacto			
Izod (entalha)	ISO 180	Kj/m²	-
Charpy (entalha)	ISO 179	Kj/m²	2
Charpy (sem entalha)	ISO 179	Kj/m²	15
Eléctricas			
Constante dieléctrica 50 Hz	DIN 53483		3,6
Resistência volumétrica	DIN 53482	Ω.cm	10^{15}
Resistência superficial	DIN 53482	Ω	10^{14}
Resistência Dieléctrica	DIN 53481	kV/mm	30
Factor de dissipação	DIN 53483		0,06

ANEXO E: Características técnicas para o poliestireno expandido (EPS)

Ficha Técnica

OBRAS360 by SOTECNISOL

TECNOVITE – INDÚSTRIA DE ESFEROVITE, LDA
AREIAS - COLMEIAS
2420-193 COLMEIAS - LEIRIA

Informa para os devidos efeitos que as placas para isolamento em poliestireno expandido (EPS), produzidas em Leiria (Portugal) denominadas e que são utilizadas em embalagem e construção civil,

EPS STD

Ao qual se refere esta declaração, tem as seguintes características:

- Massa Volúmica aparente – 10 Kg/m3 (Pode ter variações de +/- 10%)
- Absorção de Água por Imersão - < 5% de Volume
- Coeficiente de Dilatação Térmica Linear - $5\text{-}7*10^{-5}$ $^{o}C^{-1}$
- Estabilidade de Forma à temperatura – 85 ºC
- Classificação da reacção ao fogo pela EN 13501-1 - (Euroclasse): **E**
- Classificação da reacção ao fogo pela Especificação LNEC E365: **M1** (não inflamável)

Leiria, 12 de Janeiro de 2016

A Gerência
(Valter Silva)

ANEXO F: Características técnicas para o contraplacado madeira de choupo

Contraplacados **Choupo**

descrição | ficheiros

partilhar | imprimir | informações

Definição

Principalmente utilizado quando se busca por uma solução mais leve mas com alguma resistência.

Aplicações

Construção
Carpintaria
Mobiliário
Embalagem

Dimensões(mm)

2520 x 1850mm 2520 x 1870mm

Espessuras(mm)

4 5 6 8 10 12 15 18 22 25 30 35 40 50mm

Interior

100 % Madeira de Choupo

Colagem

MR Interior Classe 1
Fenólica WBP Classe 2
Emissão de formoldeído: E-1

Classificação do revestimento

B – Recomendado para superfícies para envernizar.
São permitidos alguns pequenos nós com um diâmetro até 6mm, bem como uma ligeira variação de cor.
As cores das folhas da mesma face devem coincidir.

BB – Qualidade mais utilizada em estruturas.
Os pequenos defeitos da superfície são reparados com inserções e folha de bétula e produtos sintéticos.

São permitidos nós sólidos com um diâmetro até 25 mm e outros com diâmetro até 6 mm.
São permitidas juntas abertas e variações de cor.

Faces

Folha de Choupo desenrolada.

Características físicas

Densidade (Kg/m3): 490 UNE EN 323

Modulo de Elasticidade (N/mm2): 4000 UNE EN 310

Resistência á Flexão (N/mm2): 36 UNE EN 310

ANEXO G: Características técnicas para a madeira MDF Standard / Hidrófugo

TAFIBRA
criamos o seu ambiente

SONAEPAN

TIPO - *TIPO* - TYPE: ST

Standard / *Standard* / Standard

DEFINIÇÃO - *DEFINICIÓN* - DEFINITION

Aglomerado de fibras de madeira de densidade média (MDF) para utilização em ambiente seco.

Aglomerado de fibras de madera de densidad media (MDF) para utilización en ambiente seco.

MDF for use in dry conditions.

APLICAÇÕES - *APLICACIONES* - USES

Mobiliário, portas, pavimentos, divisórias, decoração de interiores, molduras, traseiras, embalagens.

Mobiliario, puertas, pavimentos, mamparas, decoración de interiores, molduras, traseras, envases, embalaje.

Furniture, doors, flooring, partitions, interior decoration, mouldings, wardrobe backs, packaging.

DIMENSÕES E ESPESSURAS STANDARD - *MEDIDAS Y ESPESORES STANDARD* - STANDARD SIZES & THICKNESSES

Consultar catálogo "Oferta de Serviço".

Consultar catálogo "Oferta de Servicio".

Check the "Service Proposal" brochure.

TOLERÂNCIAS - *TOLERANCIAS* - TOLERANCES

	ESPESSURA-*ESPESOR*-THICKNESS (mm)							
	2,5	>2,5-4	>4-6	>6-9	>9-12	>12-19	>19-30	REF.
Comprimento e largura/*Largo y ancho*/Length & width (mm/m)	±2	±2	±2	±2	±2	±2	±2	EN 324-1
Espessura/*Espesor*/Thickness (mm)	±0,2	±0,2	±0,2	±0,2	±0,2	±0,2	±0,3	EN 324-1
Esquadria/*Escuadría*/Squareness (mm/m)	2	2	2	2	2	2	2	EN 324-2

PROPRIEDADES FISICO-MECÂNICAS - *PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS* - PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

	ESPESSURA-*ESPESOR*-THICKNESS (mm)							
	2,5	>2,5-4	>4-6	>6-9	>9-12	>12-19	>19-30	REF.
Densidade/*Densidad*/Density (*) (Kg/m³) – gama/*rango*/range	860±30	840±30	820±30	780±30	770±30	700±30	680±30	EN 323
Resistência à tracção/*Resistencia a tracción*/Internal bond(N/mm²) – min.	0,95	0,95	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	EN 319
Inchamento/*Hinchamiento*/Thickness swelling (24 h) (%) – max.	45	35	30	17	15	12	10	EN 317
Resistência à flexão/*Resistencia a flexión*/Bending strength (N/mm²) – min.	23	23	23	23	22	20	18	EN 310
Módulo de elasticidade/*Módulo de elasticidad*/Modulus of elasticity (N/mm²) – min.			2700	2700	2500	2200	2100	EN 310
Teor de humidade/*Humedad residual*/Moisture content (%) – gama/*rango*/range	4-11	4-11	4-11	4-11	4-11	4-11	4-11	EN 322
Teor de sílica/*Contenido en sílice*/Sand content (%) – max.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	ISO 3340
Teor de formaldeído/*Contenido en formaldehído*/Formaldehyde potential (mg/100g) – max.								
Classe/*Clase*/Class E1	8	8	8	8	8	8	8	EN 120

(*) Valor de referência / *Dato orientativo* / Guiding value

valbopan by investwood

Ficha de Produto

Edição 06
Data 01/03/2017
Pag. 1/2

1. Descrição e gama

Valbopan® Medium Density Fibreboard

O Valbopan MDF é um painel fabricado a partir de fibras de madeira de pinho, aglutinadas com resinas sintéticas, através da acção do calor e pressão. O produto final é um painel homogéneo, fácil de cortar e moldar, que tem acabamento e densidades uniformes, com superfícies lisas.

Existe MDF disponível para utilização em meios secos (MDF.STD), para utilização em meios húmidos (MDF.HID) e com propriedades ignífugas (MDF.IGN).

Dimensões (mm)

3660x2440 | 3660x1220 | 2440x1830 | 2440x1220

Espessuras (mm)

MDF.STD: 12 | 16 | 19 | 30

MDF.HID: 16 | 19 | 30

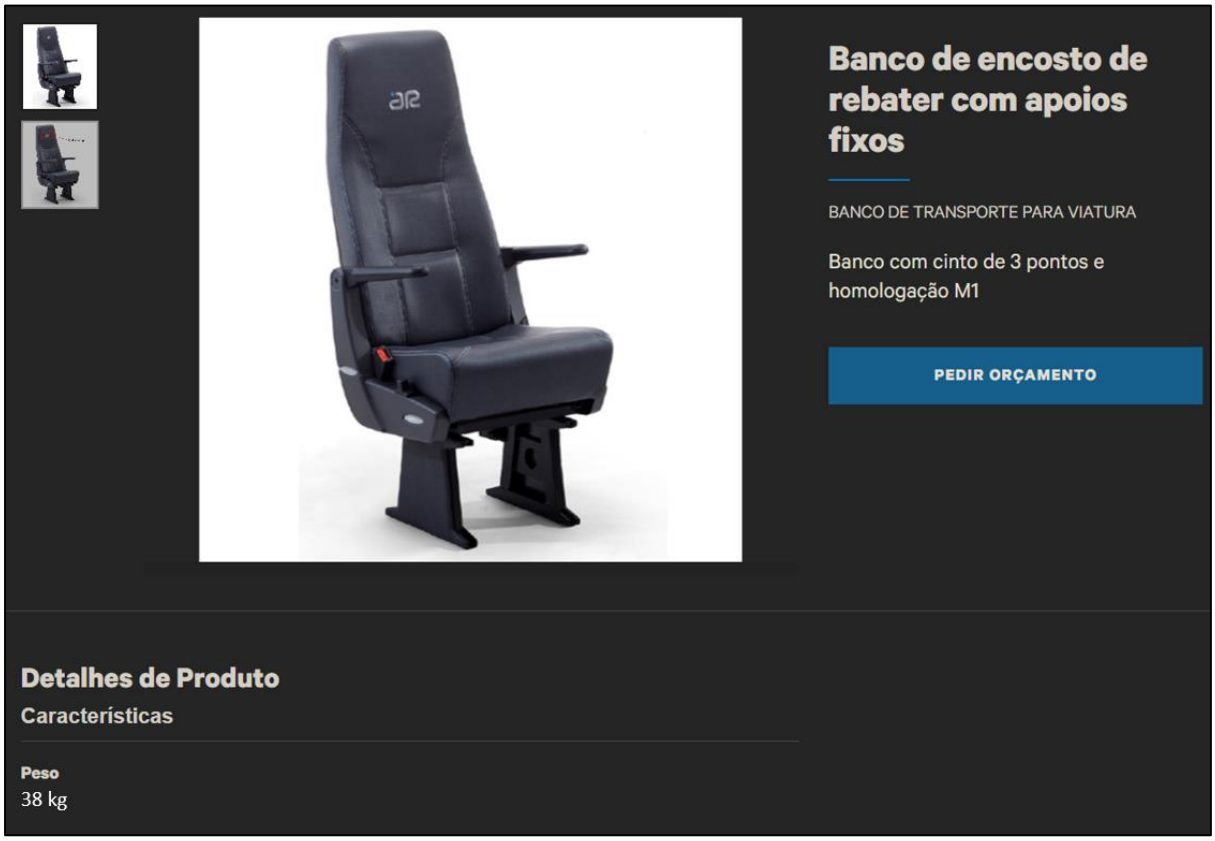
MDF.IGN: 16 | 19

2. Propriedades

Espessura Nominal

Características		Unidade	12	16 | 19	30	Norma
Densidade		Kg/m³	780	750	730	EN 323
Reacção ao Fogo	MDF.STD		F	D-s2, d0		EN 13501
	MDF.IGN			B-s2, d0		
Inchamento (24 horas)	MDF.STD MDF.IGN	%	15	12	10	EN 317
	MDF.HID	%		8	7	
Resistência à Tracção	MDF.STD MDF.IGN	N/mm²	0,65	0,60	0,60	EN 319
	MDF.HID	N/mm²		0,75	0,75	
Resistência à Flexão	MDF.STD MDF.IGN	N/mm²	27	25	23	EN 310
	MDF.HID	N/mm²		24	22	
Módulo de Elasticidade Em Flexão	MDF.STD MDF.IGN	N/mm²	2800	2500	2300	EN 310
	MDF.HID	N/mm²		2400	2300	
Inchamento após Ensaio Cíclico	MDF.HID	%		15	15	EN 321
Resistência à Tracção Após Ensaio Cíclico	MDF.HID	N/mm²		0,20	0,15	EN 321
Tolerância de Espessura		mm	±0,2		±0,3	
Tolerância de Dimensão		mm/m	±2; máximo ±5			

valbopan® medium density fibreboard

investwood.pt

ANEXO H: Características técnicas para os equipamentos da Auto Ribeiro *Charriot* A150 e Banco Encosto de Rebater