



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

**ISEL**



## **Estudo e Desenvolvimento da Adaptação duma Viatura Ligeira para Transporte de Deficientes Motores**

**VÍTOR MIGUEL CUNHA ANTUNES**

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes  
Engenheiro Luís Filipe Bagagem Grosso

Júri:

Presidente: Doutor João Carlos Quaresma Dias  
Vogais: Doutor Jorge Manuel Mateus Martins  
Doutora Inês de Carvalho Jerónimo Barbosa  
Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes  
Engenheiro Luís Filipe Bagagem Grosso

**Novembro de 2012**



Aos meus Pais.

Aos meus familiares.

À Ana.

*“É difícil dizer o que é impossível:  
o sonho de ontem é a esperança de hoje  
e a realidade de amanhã.”*

Robert H. Goddard





## RESUMO

Na sociedade atual existe uma necessidade crescente, por parte de pessoas com incapacidades motoras, de utilizarem meios adaptados que lhes permita serem mais autónomos e menos limitados. Para isso, têm sido desenvolvidos constantemente melhores acessibilidades aos transportes, oferecendo a esta população melhores condições.

Neste sentido, e em colaboração com a Câmara Municipal de Lisboa (C.M.L.), a realização deste trabalho de projeto teve como fundamento a necessidade de desenvolver uma nova viatura adaptada para transporte de deficientes motores, com o objetivo de acompanhar o mercado e de renovar a frota já existente. Além disso, algumas das viaturas em funcionamento nos serviços da C.M.L. já se encontravam obsoletas, não oferecendo totais condições de segurança aos passageiros, pois eram utilizados bancos corridos para dois passageiros; os degraus de acesso da porta lateral não ofereciam a máxima segurança; e algumas plataformas não apresentavam capacidade para elevação de cadeiras de rodas elétricas.

As soluções encontradas para a nova viatura foram: aplicação de uma plataforma eletro-hidráulica do tipo “gaveta”, para que ficasse perfeitamente arrumada; sobrelevação do piso interior da viatura para permitir arrumação da plataforma; instalação de bancos unitários, com rotação de 90 graus, para facilitar a entrada de cadeiras de rodas e oferecer mais espaço ao habitáculo; e realização do dimensionamento do circuito óleo-hidráulico da estrutura de elevação traseira (plataforma) para permitir a elevação de cadeiras de rodas elétricas.

Neste trabalho foram utilizados vários programas informáticos de engenharia como o SolidWorks® e ANSYS® para o cálculo estrutural e o Automation Studio® para simulação do funcionamento do circuito óleo-hidráulico.

A nova viatura desenvolvida serviu para substituir uma das mais antigas, tendo a C.M.L. neste momento uma adaptação inovadora, que respeita todas as necessidades e especificações requeridas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Deficientes motores, Cadeiras de rodas, Acessibilidade, Transporte Adaptado, Sistema de elevação óleo-hidráulico.



## ABSTRACT

In today's society there exists a growing need for persons with motor disabilities, to use adapted means to allow them to be more autonomous and less limited. Having this in mind, it has been constantly developed better transportation accessibilities, offering the best conditions for this population.

In this sense, and in collaboration with the Câmara Municipal de Lisboa (CML), making this project work was based on the need to develop a new adapted vehicle to transport the disabled people, in order to follow the market and renew existing fleet. On the other hand, some of the vehicles in service at CML were already obsolete and do not provide total security conditions for passengers, they use a bench seat for two passengers, the steps leading from the side door did not offer maximum security, and some platforms did not have the capability to lift up electric wheelchairs.

The solutions for the new car have been: application of an electro-hydraulic platform of the "drawer", to make it perfectly neat; elevation of the vehicle interior floor to allow the platform stowage, installation of unit banks, rotated 90 degrees to facilitate the entry of wheelchairs and provide more space in the cockpit, and realization of circuit designing the oil hydraulic circuit structure of the rear lift (platform) to allow elevation of electric wheelchairs.

In this work it has been used several engineering software such as SolidWorks<sup>®</sup> and ANSYS<sup>®</sup> for structural design, and Automation Studio<sup>®</sup> for simulation and operation of the oil hydraulic circuit.

The new adapted car was used to replace one of the oldest, having the CML at this time an innovative adaptation, which complies with all requirements and specifications.

**KEYWORDS:** Disabled people, Wheelchairs, Accessibility, Adapted Transport, Oil hydraulic lift system.



## **AGRADECIMENTOS**

É com o maior e sincero prazer que deixo estes agradecimentos a todos os que contribuíram positivamente para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Mário Mendes, orientador deste projeto de mestrado, pela sua disponibilidade, acessibilidade e interesse pelo tema. Estou grato também pela liberdade de ação que me permitiu, a qual foi decisiva para que este trabalho contribuísse para o meu desenvolvimento pessoal.

Em segundo lugar, agradeço ao Engenheiro Luís Grosso, meu Co-Orientador, o qual tornou possível a minha participação neste projeto, pelo seu auxílio e disponibilidade.

Gostaria também de agradecer ao Sr. Jorge Pereira da divisão de gestão de frota da Câmara Municipal de Lisboa, o qual me prestou sempre a melhor atenção e receção, fornecendo-me informações da situação das viaturas em funcionamento.

Deixo também uma palavra de agradecimento à empresa Auto Ribeiro Lda. e pessoalmente ao Sr. Vítor Ribeiro pela sua disponibilidade, amabilidade e pelas informações fornecidas.

Agradeço também ao Sr. António Manuel da direção geral de vendas e marketing de veículos comerciais da Mercedes-Benz, o qual me acompanhou na primeira visita à empresa Auto Ribeiro Lda..

Deixo ainda um agradecimento à Dr.<sup>a</sup>. Leonor, do departamento de desenvolvimento social da Câmara Municipal de Lisboa, pelos esclarecimentos prestados.

Gostaria de deixar um agradecimento à empresa Movicontrol, S.A., e em especial ao Engenheiro Filipe Assunção, da mesma empresa, pelas informações e aconselhamentos fornecidos sobre óleo-hidráulica.

Agradeço também aos meus pais pelo acompanhamento constante durante a minha vida académica, por toda a força, apoio e dedicação que sempre me deram para nunca desistir.

Finalmente, gostaria de agradecer à Ana, por todo o apoio e carinho dados constantemente.



# ÍNDICE GERAL

|  |          |
|--|----------|
| RESUMO .....   | v        |
| ABSTRACT .....   | vii      |
| AGRADECIMENTOS .....   | ix       |
| ÍNDICE GERAL .....   | xi       |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | xv       |
| ÍNDICE DE TABELAS .....  | xix      |
| LISTA DE ABREVIATURAS .....  | xxi      |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....  | xxiii    |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b> |
| 1.1. Aspetos gerais.....   | 1        |
| 1.2. Motivação .....   | 2        |
| 1.3. Requisitos das viaturas de transporte adaptado a deficientes motores .....                                      | 2        |
| 1.4. Objetivos deste trabalho de projeto .....   | 3        |
| 1.5. Síntese dos objetivos atingidos.....  | 3        |
| 1.6. Estrutura e organização da dissertação .....  | 4        |
| <b>2. SISTEMAS E MEIOS DE TRANSPORTE ADAPTADOS: ESTADO DA ARTE E<br/>ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS .....</b>               | <b>7</b> |
| 2.1. Introdução.....   | 7        |
| 2.2. Acessibilidade para pessoas com deficiência .....   | 8        |
| 2.3. Acessibilidade nos Transportes em Portugal.....   | 9        |
| 2.3.1. Transportes Públicos .....  | 10       |
| 2.3.2. Transportes Privados/Pessoais .....   | 13       |
| 2.4. Apoio da C.M.L. no transporte adaptado para deficientes motores .....   | 14       |
| 2.5. Histórico da C.M.L. na atualização de viaturas ligeiras para transporte adaptado a deficientes<br>motores ..... | 15       |
| 2.6. Sistemas de fixação de cadeiras de rodas no interior de viaturas .....  | 19       |
| 2.6.1. Tipos de fixação .....  | 21       |
| 2.6.2. Piso móvel no interior da viatura (plataforma de absorção de choque) .....                                    | 23       |
| 2.7. Causas de acidentes com cadeiras de rodas em transportes .....  | 24       |
| 2.8. Especificações técnicas propostas para a construção e transformação da viatura.....                             | 26       |
| 2.8.1. Especificações técnicas do chassis, exigidas ao construtor da viatura .....                                   | 26       |
| 2.8.2. Especificações técnicas do carroçamento, exigidas ao transformador da viatura .....                           | 27       |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.8.3. Especificações de assistência técnica exigidas .....   | 29        |
| 2.9. Verificação do cumprimento das especificações técnicas exigidas ao construtor da viatura (Mercedes-Benz) ..... | 30        |
| <b>3. PROPOSTA DE SISTEMA DE ELEVAÇÃO .....</b>   | <b>33</b> |
| 3.1. Introdução.....  | 33        |
| 3.2. Análise de Necessidades.....   | 33        |
| 3.2.1. Objetivos do sistema .....   | 33        |
| 3.2.2. Requisitos do sistema .....  | 34        |
| 3.3. Construção da plataforma elevatória .....  | 34        |
| 3.4. Instalação.....  | 35        |
| 3.4.1. Requisitos de instalação .....   | 35        |
| 3.4.2. Novas necessidades encontradas .....   | 36        |
| 3.5. Dimensionamento do circuito óleo-hidráulico para a plataforma elevatória traseira .....                        | 36        |
| 3.5.1. Determinação da carga efetiva de operação .....  | 37        |
| 3.5.2. Considerações iniciais .....   | 40        |
| 3.5.3. Pressão de funcionamento .....   | 41        |
| 3.5.4. Dimensionamento da haste do cilindro .....   | 42        |
| 3.5.5. Espessura mínima das paredes do cilindro .....   | 43        |
| 3.5.6. Espessura mínima do fundo do cilindro .....  | 43        |
| 3.5.7. Verificação da soldadura do fundo do cilindro .....  | 43        |
| 3.5.8. Espessura mínima da tampa do cilindro.....   | 44        |
| 3.5.9. Verificação dos parafusos de fixação da tampa do cilindro .....  | 46        |
| 3.5.10. Verificação dos pinos de fixação do cilindro.....   | 50        |
| 3.5.11. Velocidade de funcionamento .....   | 51        |
| 3.5.12. Caudal de óleo necessário.....  | 52        |
| 3.5.13. Potência do Motor elétrico.....   | 53        |
| 3.5.14. Dimensionamento das tubagens.....   | 54        |
| 3.6. Representação do sistema hidráulico no programa “Automation Studio®” .....                                     | 55        |
| <b>4. PROPOSTA DE ESTRUTURA PARA O PISO INTERIOR DA VIATURA .....</b>   | <b>59</b> |
| 4.1. Introdução.....  | 59        |
| 4.2. Análise de Necessidades.....   | 59        |
| 4.2.1. Objetivos da estrutura.....  | 59        |
| 4.2.2. Requisitos da estrutura .....  | 60        |
| 4.2.3. Modalidades de transporte.....   | 60        |
| 4.3. Modelo simplificado do piso interior .....   | 62        |
| 4.4. Construção do modelo real do piso interior.....  | 63        |
| 4.4.1. Considerações tidas em conta.....  | 63        |



|  |            |
|--|------------|
| 4.4.2. Características do material utilizado .....   | 64         |
| 4.4.3. Dimensões e quantidades dos materiais utilizados.....   | 65         |
| 4.4.4. Construção 3D da estrutura .....  | 66         |
| 4.5. Estudos efetuados em programas informáticos .....   | 69         |
| 4.5.1. Introdução.....   | 69         |
| 4.5.2. Coeficiente de segurança a considerar (estimado) .....  | 70         |
| 4.5.3. Estudo de validação.....  | 71         |
| 4.5.4. Estudos efetuados aos modelos 3D construídos .....  | 72         |
| <b>5. CONCLUSÕES GERAIS e TRABALHO FUTURO.....</b>   | <b>91</b>  |
| 5.1. Conclusões Gerais .....   | 91         |
| 5.2. Principais Problemas ou Dificuldades .....  | 92         |
| 5.3. Resultados obtidos e verificação de receção .....   | 92         |
| 5.4. Trabalho Futuro .....   | 94         |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>   | <b>95</b>  |
| <b>ANEXO I - REPRESENTAÇÃO DE KEYPOINTS UTILIZADOS NO PROGRAMA ANSYS® E SUAS COORDENADAS.....</b>          | <b>99</b>  |
| <b>ANEXO II- LISTA DE COMANDOS ANSYS® .....</b>  | <b>105</b> |
| <b>ANEXO III - CÁLCULOS ANALITICOS PARA VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS EM ANSYS® E SOLIDWORKS® .....</b> | <b>127</b> |
| <b>ANEXO IV - CÁLCULOS PARA DETERMINAÇÃO DE REAÇÕES A APLICAR NA ESTRUTURA DO PISO INTERIOR .....</b>      | <b>139</b> |
| <b>ANEXO V- DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS PARAFUSOS A INSTALAR NAS CALHAS DE FIXAÇÃO.....</b>              | <b>145</b> |
| <b>ANEXO VI - APROVEITAMENTO DE CHAPA PARA O PISO INTERIOR.....</b>  | <b>153</b> |
| <b>ANEXO VII - CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E PONDERAÇÃO PRESENTES NO PROTOCOLO DA C.M.L .....</b>                 | <b>159</b> |
| <b>ANEXO VIII - CATÁLOGOS COM INFORMAÇÕES TÉCNICAS .....</b>   | <b>163</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Plataforma elevatória eletro-hidráulica montada numa viatura da C.M.L. (Fotografia obtida em: Instalações da C.M.L.).....  | 16 |
| Figura 2.2 – Interior de duas viaturas de transporte adaptado da C.M.L. a) Sistema com bancos corridos de utilização para duas pessoas; b) Sistema com bancos unitários (Fotografias obtidas em: Instalações da C.M.L.).....  | 16 |
| Figura 2.3 – a) Interior de uma das viaturas mais recentes onde se visualiza a orientação dos bancos; b) Comando de abertura de emergência pelo exterior da viatura (Fotografias obtidas em: Instalações da C.M.L.).....  | 18 |
| Figura 2.4 – a) Plataforma elevatória de abertura automática; b) Rampa manual instalada na mesma viatura (Fotografias obtidas em: Instalações da C.M.L.).....   | 18 |
| Figura 2.5 – a) Viatura mais recente com montagem de rampa manual; b) Viatura mais antiga com degrau fixo no exterior da viatura (Fotografias obtidas em: Instalações da C.M.L.).....   | 19 |
| Figura 2.6 – Ensaio de choque frontal de acordo com as normas ISO 10542 e SAE J2249. a) Vista de frente da viatura de ensaio. b) Vista lateral da viatura de ensaio (Bermound et al., 2010).....  | 20 |
| Figura 2.7 – Tipos de sistema de fixação de cadeiras de rodas ao interior de viaturas automóveis. a) Sistema FWORS (cinto de segurança equipado no automóvel de transporte). b) Sistema WIRS (cinto de segurança instalado na própria cadeira de rodas), Adaptado de: (Shaw, 2000). ....  | 21 |
| Figura 2.8 – Ângulos das correias de fixação descritos na norma ISO 10542. a) Ângulos das correias de fixação na traseira da cadeira de rodas. b) Ângulos das correias de fixação frontais na cadeira de rodas (ISO 10542-2, 2001). ....  | 22 |
| Figura 2.9 – Sistema de piso móvel no interior da viatura: (1) Piso interior da viatura a adaptar, (2) Plataforma de absorção de choque, (3) Isolador de impacto, (4) Cadeira de rodas, (5) Sistema de fixação da cadeira de rodas à plataforma, (6) Ocupante da cadeira de rodas, (7) Cinto de segurança, Adaptado de: (Balandin et al., 2008). .... | 23 |
| Figura 2.10 – Ocorrência dos vários tipos de incidentes em transportes com cadeira de rodas, Adaptado de: (Wretstrand et al., 2004).....  | 25 |
| Figura 2.11 – Viatura nas instalações da Auto Ribeiro Lda. pronta para sofrer transformação. a) Vista exterior; b) Vista interior (Fotografia obtida em: Instalações da Auto Ribeiro Lda.).....   | 31 |
| Figura 3.1 – Simplificação da instalação do sistema de elevação na traseira da viatura. a) Plataforma recolhida; b) Plataforma aberta.....  | 36 |
| Figura 3.2 – Representação do modelo construído em SolidWorks®. a) Plataforma apta para entrada de cadeira de rodas, com apoio de braço aberto; b) Plataforma ao nível de abertura, com apoio de braço fechado.....   | 37 |
| Figura 3.3 – Representação esquemática do caso I e do seu diagrama de resultante de forças.....   | 38 |
| Figura 3.4 – Representação esquemática do caso II e do seu diagrama de resultante de forças. ....   | 39 |
| Figura 3.5 – Representação esquemática do caso III e do seu diagrama de resultante de forças. ....  | 39 |
| Figura 3.6 – Representação esquemática do caso IV e do seu diagrama de resultante de forças.....  | 40 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.7 – Representação esquemática de um cilindro hidráulico de simples efeito e da sua área da secção de avanço, $S_a$ .....   | 41 |
| Figura 3.8 – Representação esquemática da encurvadura, para o 2º caso de Euler, Adaptado de: (Götz, 1991).....  | 42 |
| Figura 3.9 – Representação esquemática da soldadura do fundo do cilindro.....   | 44 |
| Figura 3.10 – Representação esquemática, em corte, da tampa e de parte do corpo do cilindro hidráulico. ....  | 44 |
| Figura 3.11 – Representação esquemática das forças exteriores aplicadas à separação da junta, P.....  | 46 |
| Figura 3.12 – Representação e dimensões dos parafusos a instalar na tampa do cilindro hidráulico. ..  | 50 |
| Figura 3.13 – Representação de um pino de fixação sujeito ao corte. ....  | 50 |
| Figura 3.14 – Bomba hidráulica tipo L7, Adaptado de: (Rexroth Bosch Group, 2010) .....  | 52 |
| Figura 3.15 – Motor elétrico tipo C40, Adaptado de: (Rexroth Bosch Group, 2010).....  | 53 |
| Figura 3.16 – Representação explodida do módulo compacto. 1) Motor elétrico tipo C-40; 2) Junção de elementos; 3) Válvula direcional; 4) Junção para acoplamento de válvulas e cilindro hidráulico; 5) Bomba hidráulica tipo L7; 6) Suporte de instalação; 7) Tubo de sucção e filtro; 8) Reservatório hidráulico, Adaptado de: (Rexroth Bosch Group, 2010).....              | 54 |
| Figura 3.17 – Circuito hidráulico e circuito de potência. ....  | 55 |
| Figura 3.18 – Circuito elétrico. ....   | 56 |
| Figura 3.19 – Botoneira de acionamento da plataforma elevatória.....  | 57 |
| Figura 3.20 – Funcionamento do circuito óleo-hidráulico. a) Circuito de Avanço; b) Circuito de Recuo.....   | 58 |
| Figura 4.1 – Modelo simplificado do piso interior a instalar na carrinha. a) Vista lateral; b) Vista em corte. ....   | 62 |
| Figura 4.2 – Simplificações ao modelo. a) Primeira simplificação; b) Segunda simplificação .....  | 63 |
| Figura 4.3 – Alinhamento entre o eixo de simetria da cadeira de rodas e o eixo de simetria das calhas de fixação. À esquerda representa-se um correto alinhamento e à direita um incorreto alinhamento. Legenda: a – eixo de simetria da cadeira de rodas; b – eixo de simetria entre as duas calhas; c – zonas de fixação, por parafusos, à estrutura do piso interior. .... | 64 |
| Figura 4.4 – Modelo tridimensional da estrutura, construído em SolidWorks® .....  | 67 |
| Figura 4.5 – Representação de todas as linhas e pontos da estrutura, em ANSYS® .....  | 68 |
| Figura 4.6 – Modelo tridimensional da estrutura, construído em ANSYS® .....   | 69 |
| Figura 4.7 – Representação dos referenciais utilizados neste projeto. ....  | 74 |
| Figura 4.8 – Forças e ângulos aplicados nos pontos de fixação ao piso da viatura. a) Situação utilizando o cinto de segurança do lado esquerdo; b) Situação utilizando o cinto de segurança do lado direito.....  | 75 |
| Figura 4.9 – Cargas a aplicar na primeira parte do estudo, ou seja, no momento do impacto da viatura: a) em cadeiras de rodas manuais utilizando cinto de segurança do lado esquerdo; b) em cadeiras de rodas elétricas utilizando cinto de segurança do lado esquerdo.....   | 76 |
| Figura 4.10 – Cargas a aplicar na segunda parte do estudo, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura: a) em cadeiras de rodas manuais utilizando cinto de segurança do lado esquerdo; b) em cadeiras de rodas elétricas utilizando cinto de segurança do lado esquerdo.....  | 76 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.11 – Visualização da coincidência da zona de fixação das cintas às calhas, com as zonas de instalação dos parafusos. ....  | 77  |
| Figura 4.12 – Distribuição das cadeiras de rodas no interior da viatura. ....   | 77  |
| Figura 4.13 – Representação esquemática das forças transmitidas pelas cintas às calhas de fixação e das reações que serão transmitidas à estrutura do piso interior. ....                     | 78  |
| Figura 4.14 – Cargas e constrangimentos aplicados à estrutura na primeira parte do estudo em ANSYS <sup>®</sup> , ou seja, no momento de impacto da viatura. ....                             | 79  |
| Figura 4.15 – Cargas e constrangimentos aplicados à estrutura na primeira parte do estudo em SolidWorks <sup>®</sup> , ou seja, no momento de impacto da viatura. ....                        | 80  |
| Figura 4.16 – Cargas e constrangimentos aplicados à estrutura na segunda parte do estudo em ANSYS <sup>®</sup> , ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura. ....               | 80  |
| Figura 4.17 – Cargas e constrangimentos aplicados à estrutura na segunda parte do estudo em SolidWorks <sup>®</sup> , ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura. ....          | 81  |
| Figura 4.18 – Resultados obtidos na primeira parte do estudo em ANSYS <sup>®</sup> , ou seja, no momento de impacto da viatura. ....  | 81  |
| Figura 4.19 – Resultados obtidos na primeira parte do estudo em SolidWorks <sup>®</sup> , ou seja, no momento de impacto da viatura. ....   | 82  |
| Figura 4.20 – Resultados obtidos na segunda parte do estudo em ANSYS <sup>®</sup> , ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura. ....  | 83  |
| Figura 4.21 – Resultados obtidos na segunda parte do estudo em SolidWorks <sup>®</sup> , ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura. ....                                       | 83  |
| Figura 4.22 – Representação da cobertura superior a cor violeta, parte da inferior a cor verde, e das chapas guia das tubagens e cabelagens elétricas a cinza. ....                           | 84  |
| Figura 4.23 – Representação de todas as cargas e constrangimentos aplicados ao piso na primeira parte do estudo, ou seja, no momento de impacto da viatura. ....                              | 86  |
| Figura 4.24 – Representação de todas as cargas e constrangimentos aplicados ao piso na segunda parte do estudo, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura. ....                | 86  |
| Figura 4.25 – Resultado da tensão de Von Mises obtida na primeira parte do estudo em SolidWorks <sup>®</sup> , ou seja, no momento de impacto da viatura. ....                                | 87  |
| Figura 4.26 – Resultado da tensão de Von Mises obtida na segunda parte do estudo em SolidWorks <sup>®</sup> , ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura. ....                  | 87  |
| Figura 4.27 – Piso interior desenvolvido para a viatura. a) Vista traseira; b) Porta lateral, (Fotografia obtida em: Instalações da Auto Ribeiro Lda.). ....                                  | 89  |
| Figura 4.28 – Plataforma elevatória instalada. a) Vista traseira da viatura; b) Detalhe da ranhura para entrada da plataforma, (Fotografia obtida em: Instalações da Auto Ribeiro Lda.). .... | 89  |
| Figura 5.1 – Viatura completamente adaptada, pronta para circular. a) Vista exterior; b) Porta lateral, (Fotografia obtida em: Instalações da C.M.L.). ....                                   | 93  |
| Figura 5.2 – Interior da viatura transformada. a) Vista de frente; b) Vista traseira, (Fotografia obtida em: Instalações da C.M.L.). ....   | 94  |
| Figura A.III.1. – Representação esquemática da viga para a determinação das equações ....   | 129 |
| Figura A.III.2. – Secção da viga com as dimensões do tubo da estrutura do piso interior ....  | 131 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura A.III.3. – Distância à fibra mais afastada.....  | 132 |
| Figura A.III.4. – Representação de meia secção da viga, para obtenção dos valores das distâncias $z_1$ , $z_2$ e $z_3$ . .....                              | 132 |
| Figura A.III.5. – Representação da secção da tubagem, obtida do programa ANSYS® .....   | 134 |
| Figura A.III.6. – Representação do declive da viga, em ANSYS® .....   | 134 |
| Figura A.III.7. – Representação da flecha da viga em ANSYS® .....   | 135 |
| Figura A.III.8. – Representação da tensão máxima de Von Mises na viga.....  | 135 |
| Figura A.III.9. – Representação da flecha da viga, em SolidWorks® .....   | 136 |
| Figura A.III.10. – Representação da tensão de Von Mises na viga, em SolidWorks® .....   | 136 |
| Figura A.IV.1. – Aplicação de cargas no ponto B e respetivas reações e momentos resultantes nos pontos A e C .....  | 141 |
| Figura A.V.1. – Representação esquemática das forças exteriores aplicadas à separação da junta, P, e ao corte na junta/parafuso, $P_s$ .....                | 147 |
| Figura A.V.2. – Visualização da espessura de cada membro da junta aparafusada .....   | 149 |
| Figura A.V.3. – Representação do parafuso selecionado .....   | 152 |
| Figura A.VI.1. – Representação da vista superior do piso, com as 4 chapas de cobertura .....  | 155 |
| Figura A.VI.2. – Visualização da chapa 5, instalada pela parte inferior do piso, na zona traseira da viatura .....  | 156 |
| Figura A.VI.3. – Visualização das chapas 6, 7 e 8 que servem de revestimento para o degrau, na zona da porta lateral .....                                  | 156 |
| Figura A.VI.4. – Chapas 9 e 10, instaladas pela parte inferior do piso e que servirão como guias para as tubagens e cablagem da plataforma elevatória ..... | 156 |
| Figura A.VI.5. – Visualização do aproveitamento da chapa adquirida.....   | 157 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 2.1 – Grau de incapacidade atribuído à população residente com deficiência por local de residência (à data dos Censos 2001) e escalão dos graus de deficiência (Censos, 2001).....                         | 9   |
| Tabela 3.1 – Características técnicas da estrutura elevatória construída.....   | 35  |
| Tabela 3.2 – Características selecionadas inicialmente para o cilindro hidráulico .....   | 41  |
| Tabela 3.3 – Propriedades dos materiais a utilizar na construção do cilindro hidráulico (ver ponto II do ANEXO VIII).....   | 41  |
| Tabela 3.4 – Características do membro da junta.....  | 48  |
| Tabela 3.5 – Cursos de funcionamento da plataforma e respetivo cilindro.....  | 51  |
| Tabela 3.6 – Características técnicas da bomba .....  | 52  |
| Tabela 3.7 – Características técnicas do motor elétrico .....   | 53  |
| Tabela 3.8 – Referência de cada elemento selecionado .....  | 53  |
| Tabela 3.9 – Características da tubagem selecionada .....   | 55  |
| Tabela 3.10 – Legenda do circuito hidráulico representado na figura 3.17 .....  | 56  |
| Tabela 4.1 – Resumo das principais propriedades do material .....   | 65  |
| Tabela 4.2 – Dimensões e quantidades dos materiais utilizados .....   | 66  |
| Tabela 4.3 – Comparação de resultados .....   | 72  |
| Tabela 4.4 – Massa de cada tipo de cadeira de rodas. Adaptado de: (Bermound et al., 2010) .....   | 73  |
| Tabela 4.5 – Características consideradas para os passageiros. Adaptado de: (Bermound et al., 2010).....  | 73  |
| Tabela 4.6 – Distâncias de fixação. Adaptado de: (Bermound et al., 2010) .....  | 73  |
| Tabela 4.7 – Forças e ângulos medidos nos pontos de fixação ao piso da viatura. Adaptado de: (Bermound et al., 2010).....   | 74  |
| Tabela 4.8 – Resumo das forças transmitidas pelas cintas às calhas de fixação, das reações que serão transmitidas à estrutura do piso interior e dos momentos fletores. Adaptado de: (Bermound et al., 2010)..... | 78  |
| Tabela 4.9 – Comparação de resultados obtidos na primeira parte do estudo (momento propriamente do impacto).....  | 82  |
| Tabela 4.10 – Comparação de resultados obtidos na segunda parte do estudo (momento de recuperação do impacto).....  | 84  |
| Tabela A.III.1. – Resumo de Equações .....  | 130 |
| Tabela A.III.2. – Tabela de dados .....   | 131 |
| Tabela A.III.3. – Síntese de resultados obtidos (cálculos analíticos).....  | 133 |
| Tabela A.III.4. – Síntese de resultados obtidos (ANSYS®) .....  | 136 |
| Tabela A.III.5. – Síntese de resultados obtidos (SolidWorks®).....  | 137 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela A.III.6. – Comparação de resultados .....                                   | 137 |
| Tabela A.IV.1. – Resumo de equações .....  | 143 |
| Tabela A.IV.2. – Valores a aplicar nas equações, referentes ao ponto B .....       | 143 |
| Tabela A.IV.3. – Resumo dos valores obtidos para os vários pontos de fixação ..... | 144 |
| Tabela A.V.1. – Características dos membros da junta.....                          | 149 |
| Tabela A.VI.1. – Dimensões das chapas utilizadas.....                              | 155 |



## LISTA DE ABREVIATURAS

### Abreviaturas

|                |   |
|----------------|---|
| <b>1GDL</b>    | - Um grau de liberdade  |
| <b>3D</b>      | - Três Dimensões  |
| <b>ABS</b>     | - Antilock Braking System   |
| <b>ASME</b>    | - American Society of Mechanical Engineers                                      |
| <b>ASR</b>     | - Anti-Slip Regulation  |
| <b>ASTM</b>    | - American Society for Testing and Materials                                    |
| <b>ATD</b>     | - Anthropomorphic Test Dummy  |
| <b>C.M.L.</b>  | - Câmara Municipal de Lisboa  |
| <b>CD</b>      | - Compact Disc  |
| <b>CR</b>      | - Classe de Resistência   |
| <b>DDS</b>     | - Departamento de Desenvolvimento Social  |
| <b>DEJ</b>     | - Departamento de Educação e Juventude  |
| <b>DIN</b>     | - Deutsches Institute für Normung   |
| <b>DR</b>      | - Diário da República   |
| <b>EN</b>      | - European Norm   |
| <b>ESP</b>     | - Electronic Stability Program  |
| <b>FWORS</b>   | - Fixed vehicle mounted Wheelchair Occupant Restraint Systems                   |
| <b>INR</b>     | - Instituto Nacional de Reabilitação  |
| <b>ISO</b>     | - International Organization for Standardization                                |
| <b>NHTSA's</b> | - National Highway Traffic Safety Administration's                              |
| <b>PAIPDI</b>  | - Plano de Ação para a Integração das Pessoas com Deficiências ou Incapacidades |
| <b>PNPA</b>    | - Plano Nacional de Promoção da Acessibilidade                                  |
| <b>SAE</b>     | - Society of Automotive Engineers   |
| <b>SMTUC</b>   | - Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra                    |
| <b>STCP</b>    | - Serviços de Transportes Coletivos do Porto                                    |
| <b>UMTRI</b>   | - University of Michigan Transportation Research Institute                      |
| <b>WIRS</b>    | - Wheelchair seat Integrated Restraint Systems                                  |
| <b>WTORS</b>   | - Wheelchair Tiedown and Occupant Restraint Systems                             |



## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos

|                              |  |
|------------------------------|--|
| $\% \text{ útil}$            | - Percentagem de chapa utilizada   |
| $\chi$                       | - Fator multiplicador da carga de prova do parafuso                        |
| $\nu$                        | - Coeficiente de Poisson   |
| $\left(\frac{dy}{dx}\right)$ | - Declive da viga  |
| $\eta_{global}$              | - Rendimento global do motor em percentagem                                |
| $\eta_{mec}$                 | - Rendimento mecânico  |
| $\sigma_{ced}$               | - Tensão de cedência do material   |
| $\sigma_{eq \ \phi 16}$      | - Tensão equivalente de Von Mises para pino de 16 mm de diâmetro           |
| $\sigma_{eq \ \phi 20}$      | - Tensão equivalente de Von Mises para pino de 20 mm de diâmetro           |
| $\sigma_{rup}$               | - Tensão de rutura do material   |
| $\sigma_{tração}$            | - Tensão de tração aplicada na soldadura                                   |
| $\sigma_{Von Mises}$         | - Tensão equivalente de Von Mises  |
| $\sigma_x$                   | - Tensão no eixo x   |
| $\sigma_y$                   | - Tensão no eixo y   |
| $\sigma_z$                   | - Tensão no eixo z   |
| $\sigma_{zB}$                | - Tensão devido ao momento fletor no ponto B                               |
| $\tau_{máx}$                 | - Tensão de corte máxima   |
| $\tau_{xy}$                  | - Tensão de corte no plano xy  |
| $\tau_{xz}$                  | - Tensão de corte no plano xz  |
| $\tau_{yz}$                  | - Tensão de corte no plano yz  |
| $\alpha$                     | - Ângulo entre o cilindro hidráulico e a sua estrutura superior de suporte |
| $A$                          | - Diâmetro exterior da tampa   |
| $A_d$                        | - Área da parte lisa do parafuso   |
| $A_{desperdício}$            | - Área de chapa desperdiçada   |
| $A_{pino \ \phi 16}$         | - Área do pino de diâmetro 16 mm   |
| $A_{pino \ \phi 20}$         | - Área do pino de diâmetro 20 mm   |
| $A_{sol}$                    | - Área da garganta da soldadura  |
| $A_t$                        | - Área da parte roscada do parafuso  |
| $A_{total \ disponível}$     | - Área total de chapa disponível   |
| $A_{total \ utilizada}$      | - Área total de chapa utilizada  |

|  |  |
|--|--|
| <b><math>B</math></b>                  | - Diâmetro interior da furação da tampa  |
| <b><math>C</math></b>                  | - Constante elástica da junta  |
| <b><math>C_1</math></b>                | - Constante resultante da primeira integração  |
| <b><math>C_2</math></b>                | - Constante resultante da segunda integração   |
| <b><math>C_{máx. utilizado}</math></b> | - Comprimento máximo de chapa utilizada  |
| <b><math>curso_{cilindro}</math></b>   | - Curso de funcionamento do cilindro hidráulico  |
| <b><math>curso_{plataforma}</math></b> | - Curso de funcionamento da plataforma   |
| <b><math>C_{sol}</math></b>            | - Fator dependente do tipo de soldadura  |
| <b><math>d_1</math></b>                | - Diâmetro da zona de encaixe da tampa do cilindro                                       |
| <b><math>d_2</math></b>                | - Diâmetro da instalação dos parafusos da tampa do cilindro                              |
| <b><math>d_3</math></b>                | - Diâmetro até ao ponto HF   |
| <b><math>d</math></b>                  | - Diâmetro da furação da junta para instalação de parafusos                              |
| <b><math>d_{h min}</math></b>          | - Diâmetro mínimo da haste do cilindro   |
| <b><math>d_i</math></b>                | - Diâmetro interior das tubagens hidráulicas   |
| <b><math>d_{i min}</math></b>          | - Diâmetro interior mínimo das tubagens hidráulicas                                      |
| <b><math>d_{int}</math></b>            | - Diâmetro interior do cilindro hidráulico   |
| <b><math>d_{ext}</math></b>            | - Diâmetro exterior do cilindro hidráulico   |
| <b><math>E</math></b>                  | - Módulo de Elasticidade   |
| <b><math>e_{min}</math></b>            | - Espessura mínima das paredes do cilindro   |
| <b><math>e_{real}</math></b>           | - Espessura real das paredes do cilindro   |
| <b><math>E_{soldadura}</math></b>      | - Eficiência associada à soldadura   |
| <b><math>f_1</math></b>                | - Fator referente aos dados disponíveis das propriedades dos materiais utilizados        |
| <b><math>f_2</math></b>                | - Fator referente às condições ambientais nas quais será utilizado                       |
| <b><math>f_3</math></b>                | - Fator referente aos modelos analíticos de simulação para aplicação de forças e tensões |
| <b><math>F_1</math></b>                | - Força transmitida pela cinta à calha de fixação, verticalmente                         |
| <b><math>F_2</math></b>                | - Força transmitida pela cinta à calha de fixação, horizontalmente                       |
| <b><math>F</math></b>                  | - Carga aplicada na extremidade da viga  |
| <b><math>F_b</math></b>                | - Força de tração no parafuso  |
| <b><math>F_{cil.}</math></b>           | - Força aplicada ao cilindro hidráulico  |
| <b><math>F_{cil máx.}</math></b>       | - Força máxima para o qual o cilindro terá que ter capacidade                            |
| <b><math>F_{irec}</math></b>           | - Força de pré-tensão inicial dada à junta/parafuso                                      |
| <b><math>f_m</math></b>                | - Coeficiente de atrito entre materiais da junta   |
| <b><math>F_m</math></b>                | - Força de compressão na junta   |
| <b><math>F_{peso}</math></b>           | - Peso na vertical resultante da carga aplicada e do peso da plataforma                  |
| <b><math>F_s</math></b>                | - Força atuante na estrutura superior de suporte do cilindro                             |
| <b><math>F_{sol}</math></b>            | - Força transmitida à soldadura  |
| <b><math>F_{tampa}</math></b>          | - Força aplicada à tampa, resultante da pressão no êmbolo                                |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| $h_F$                 | - Distância entre o ponto HF e o perímetro de instalação dos parafusos |
| $I_x$                 | - Momento de inércia da secção da viga                                 |
| $I_{x_1}$             | - Momento de inércia da secção retangular maior                        |
| $I_{x_2}$             | - Momento de inércia da secção retangular menor                        |
| $J$                   | - Momento de inércia da área circular da haste                         |
| $k$                   | - Carga axial que provoca a flexão transversal do cilindro             |
| $K$                   | - Fator K (relação entre o diâmetro externo e interno da tampa)        |
| $k_b$                 | - Rigidez da espiga do parafuso  |
| $k_d$                 | - Rigidez da parte lisa da espiga                                      |
| $k_m$                 | - Rigidez da junta   |
| $k_t$                 | - Rigidez da parte roscada da espiga                                   |
| $l$                   | - Distância entre pontos de fixação                                    |
| $L$                   | - Comprimento total da viga  |
| $l_d$                 | - Comprimento da parte lisa do parafuso                                |
| $L_{máx. utilizada}$  | - Largura máxima de chapa utilizada                                    |
| $l_t$                 | - Comprimento da parte roscada do parafuso                             |
| $M(x)$                | - Momento fletor numa qualquer secção distanciada x da extremidade A   |
| $M_0$                 | - Momento atuante na tampa do cilindro nas condições de funcionamento  |
| $M_A$                 | - Momento fletor no ponto A  |
| $M_B$                 | - Momento fletor no ponto B  |
| $M_C$                 | - Momento fletor no ponto C  |
| $n_{choque}$          | - Coeficiente de segurança associado ao choque                         |
| $n_b$                 | - Coeficiente de segurança de resistência do parafuso                  |
| $n_{esc}$             | - Coeficiente de segurança contra escorregamento da junta              |
| $n_{material dúctil}$ | - Coeficiente de segurança para materiais dúcteis                      |
| $NP$                  | - Número de parafusos  |
| $n_{seg}$             | - Coeficiente de segurança para dimensionamento do circuito hidráulico |
| $n_{seg estimado}$    | - Coeficiente de segurança estimado                                    |
| $n_{sep}$             | - Coeficiente de segurança de separação da junta                       |
| $P$                   | - Pressão no interior do cilindro                                      |
| $P_{motor}$           | - Potência do motor elétrico   |
| $P_{máx.}$            | - Pressão máxima   |
| $P_{máx adm}$         | - Pressão máxima admissível pelo corpo cilíndrico                      |
| $P_p$                 | - Carga de prova do parafuso   |
| $P_s$                 | - Força exterior aplicada de corte na junta/parafuso                   |
| $P_{sep}$             | - Força exterior aplicada de separação da junta, num parafuso          |
| $Q_a^+$               | - Caudal de óleo necessário ao avanço do cilindro                      |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| $R_{A_y}$                | - Reação no ponto A no eixo y                                       |
| $R_{A_z}$                | - Reação no ponto A no eixo z                                       |
| $R_{C_y}$                | - Reação no ponto C no eixo y                                       |
| $R_{C_z}$                | - Reação no ponto C no eixo z                                       |
| $S$                      | - Coeficiente de segurança à encurvadura                            |
| $S_a$                    | - Área da secção de avanço  |
| $s_k$                    | - Comprimento livre   |
| $S_p$                    | - Tensão de prova do parafuso                                       |
| $t$                      | - Espessura de cada membro da junta                                 |
| $t_{min}$                | - Espessura mínima da tampa do cilindro                             |
| $t_{subida\ plataforma}$ | - Tempo de subida da plataforma                                     |
| $V_B$                    | - Esforço transverso no ponto B                                     |
| $v_{cilindro}$           | - Velocidade de funcionamento do cilindro hidráulico                |
| $v_{esc}$                | - Velocidade de escoamento que iremos ter na realidade nas tubagens |
| $v_{esc\ máx}$           | - Velocidade de escoamento máximo recomendável em tubagens          |
| $v_{plataforma}$         | - Velocidade de funcionamento da plataforma                         |
| $x$                      | - Distância de afastamento da extremidade A                         |
| $Y$                      | - Fator dependente do fator K                                       |
| $(y)$                    | - Flecha da viga  |
| $(y_A)$                  | - Flecha da viga no ponto A   |
| $y_{MAX}$                | - Distância à fibra mais afastada                                   |

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. Aspetos gerais

Na sociedade existe uma necessidade constante de oferecer a pessoas debilitadas fisicamente uma maior acessibilidade aos transportes, de modo a torná-las mais autónomas e independentes, e por isso, ao longo dos últimos anos, temos assistido a uma maior atenção para com este problema.

Caso estejamos atentos à nossa sociedade, as viaturas adaptadas para o transporte de deficientes motores já são frequentes presentemente, embora muitas vezes passem despercebidas a quem não necessite delas diariamente. Para pessoas que usufruam e careçam destes serviços, tornam-se bens essenciais ao seu dia a dia, fazendo com que se sintam bem com elas próprias e mais integradas no meio social em que vivem.

A Câmara Municipal de Lisboa (C.M.L.) é uma das entidades que contribui positivamente para a evolução do desenvolvimento cultural e social dos cidadãos, possuindo atualmente várias viaturas adaptadas para este fim, a custo zero para o utilizador, beneficiando deste apoio os mais carenciados financeiramente.

De modo a proporcionar um transporte com melhores condições de conforto e segurança aos utilizadores com reduzidas capacidades motoras e dificuldades económicas, surgiu por parte dos serviços da C.M.L. a necessidade de desenvolver mais uma viatura deste tipo.

Com este objetivo em mente, surgiu este trabalho de colaboração com a C.M.L. onde se pretende obter uma viatura com os meios de acessibilidade mais modernos do momento, fazendo com que os utilizadores deste meio de transporte possam beneficiar desta nova aquisição.

## **1.2. Motivação**

Os principais pontos que serviram de motivação para o projeto de desenvolvimento e construção desta viatura são:

- Reduzir a discriminação sofrida por pessoas com incapacidades;
- Aumentar a acessibilidade para pessoas com deficiências motoras;
- Melhorar a autonomia de pessoas com deficiências motoras, na sociedade envolvente;
- Oferecer aos passageiros com deficiência motora, melhores condições de conforto e segurança;
- Oferecer transporte gratuito a um maior número de deficientes motores com poucas capacidades financeiras;
- Contribuir para a sociedade;

## **1.3. Requisitos das viaturas de transporte adaptado a deficientes motores**

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, e de forma resumida, uma viatura deste tipo deverá respeitar os seguintes requisitos:

- Não ultrapassar o peso bruto de 3500 kg, uma vez que se tratará de uma viatura ligeira;
- Ter uma lotação máxima de 9 lugares, contabilizando com o condutor;
- Possuir um meio que permita uma fácil entrada e saída de passageiros em cadeira de rodas;
- Deverá ter pontos de fixação devidamente concebidos, tanto para os ocupantes em bancos como em cadeiras de rodas;
- Oferecer aos passageiros a comodidade e conforto necessário;
- Todo o interior da viatura não poderá apresentar arestas vivas, ou 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;
- O piso interior deve ser antiderrapante, reduzindo o perigo de escorregamento;
- Todos os vidros terão que respeitar um ponto máximo de abertura;
- Possuir uma caixa de primeiros socorros bem visível e extintores de incêndio colocados em local adequado;
- Deverá estar dotada de dísticos identificadores do tipo de transporte, neste caso do transporte coletivo de crianças e do transporte de deficientes motores;

#### **1.4. Objetivos deste trabalho de projeto**

O objetivo principal deste trabalho é estudar, desenvolver e modificar uma viatura ligeira para transporte de deficientes motores, viatura que fará parte da frota dos serviços disponíveis na C.M.L..

Neste trabalho prende-se então estudar os sistemas de elevação, segurança e transporte adaptado (em veículos ligeiros) que existem atualmente na C.M.L., analisando todas as limitações que estes oferecem, com a intenção de se desenvolverem novas soluções. Pretende-se também, com a construção desta viatura, atingir níveis de segurança mais elevados oferecendo aos passageiros uma maior mobilidade e uma melhor qualidade de vida diária.

Outro dos objetivos deste trabalho é auxiliar os serviços da C.M.L. na elaboração de um caderno de encargos devidamente redigido, onde estarão presentes os principais requisitos da viatura a modificar, assim como deverei ajudar a C.M.L. na escolha da marca do chassis da viatura, bem como da empresa que realizará a transformação, devendo também acompanhar a modificação presencialmente, sempre que for autorizado, a fim de se retificar qualquer não conformidade encontrada.

Pretende-se, de um modo geral, obter uma viatura devidamente adaptada para o transporte de deficientes motores, tendo a sua transformação de ser efetuada com rigor e detalhe.

#### **1.5. Síntese dos objetivos atingidos**

Descritos os objetivos a atingir neste trabalho de projeto, apresenta-se nesta secção um resumo de todos os objetivos atingidos, de modo a facilitar a exposição do conteúdo desta dissertação.

Assim os objetivos atingidos foram:

- Desenvolvimento de um caderno de encargos com os requisitos fundamentais e correções às antigas viaturas da C.M.L.;
- Otimização ao sistema de plataformas utilizadas pela C.M.L. neste tipo de veículos adaptados, especificando o novo tipo de plataforma a adotar para a nova viatura;
- Adaptação e dimensionamento do circuito óleo-hidráulico instalado na estrutura da plataforma elevatória construída, conseguindo-se a sua compatibilidade e aplicação na realidade;
- Apresentação do circuito de potência e do circuito elétrico aplicáveis ao sistema hidráulico dimensionado e aplicado na viatura;
- Análise da organização da lotação do interior da viatura, de modo a obter a arrumação desejada pelos serviços da C.M.L., zelando pelos seus interesses e pelos dos passageiros que irão ser transportados;
- Realização de estudos ao piso interior instalado, para verificação da veracidade e cumprimento dos requisitos de segurança. Simulação de estudos de impacto da viatura, para verificação de resistência da estrutura e dos seus componentes de fixação a estas condições de funcionamento, de acordo com normalização aplicável;
- Verificação do aproveitamento da chapa de cobertura superior, inferior e lateral do piso interior a construir;
- Verificação de todos os requisitos especificados ao construtor e transformador da viatura, para deteção de anomalias e avarias suscetíveis de alteração ou correção, à receção da viatura nas instalações da C.M.L..

## **1.6. Estrutura e organização da dissertação**

Esta dissertação é composta por cinco capítulos, contabilizando o primeiro e quinto capítulos de introdução e conclusões, respetivamente.

No primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema e apresentados os objetivos deste trabalho, assim como os objetivos atingidos neste trabalho de projeto.

No segundo capítulo são analisados os diferentes sistemas e meios de transporte adaptado, fazendo-se incluir todas as especificações técnicas requeridas ao desenvolvimento da nova viatura.

No capítulo três é apresentada uma proposta para instalação do sistema de elevação na viatura, realizando-se o dimensionamento de todo o circuito óleo-hidráulico. Para esse dimensionamento é também feita uma análise às necessidades da estrutura do sistema de elevação.

A proposta de desenvolvimento da estrutura para o piso interior é feita no capítulo quatro. Neste capítulo são também realizados vários estudos em programas específicos, para verificação de conformidade da estrutura.

Por último, no capítulo cinco, são apresentadas as conclusões deste trabalho de projeto bem como as principais dificuldades encontradas ao longo da realização do mesmo. São também apresentados, neste capítulo, os resultados obtidos e ainda a descrição de alguns trabalhos futuros.



# CAPÍTULO 2

## **SISTEMAS E MEIOS DE TRANSPORTE ADAPTADOS: ESTADO DA ARTE E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS**

### **2.1. Introdução**

As pessoas incapacitadas são reconhecidamente uma parte vulnerável da população, sendo muitas vezes discriminadas e colocadas de parte.

Nos dias de hoje, essa vulnerabilidade já não é tão acentuada, uma vez que existem melhores meios, e em maior número, possibilitando às pessoas com deficiência serem mais autónomos (Bettencourt, 2005; Charana, 1994).

Um estudo realizado no ano de 1995 revelou que na altura as pessoas com incapacidades motoras teriam maiores custos associados ao transporte do que pessoas sem deficiências, devendo-se esse facto à necessidade desses cidadãos recorrerem a transportes privados ou possuírem um veículo próprio, visto serem ainda pouco numerosos os transportes públicos com adaptação para transporte de deficientes motores (Oxley & Richards, 1995).

Nos últimos 20 anos, em França como no resto da Europa, incluído também na América do Norte, a integração de pessoas com deficiências na sociedade tem tido especial importância, havendo um constante desenvolvimento para aumentar a segurança dos ocupantes em cadeiras de rodas nos transportes, tendo-se como objetivo atingir um nível de segurança e conforto equivalente ao oferecido aos passageiros sem deficiências. De referir, que muitas das pessoas com incapacidades de mobilidade exigem a utilização de uma cadeira de rodas em tempo parcial ou mesmo em tempo total, considerando-as assim como um bem indispensável no seu dia a dia, necessitando de se fazerem acompanhar destas para qualquer lugar onde se desloquem (Bermound *et al.*, 2010).

A adaptação dos transportes, incluindo os transportes públicos, provoca uma transformação notável na vida das pessoas com deficiências motoras e suas famílias, uma vez que facilitam consideravelmente a sua acessibilidade e movimentação na sociedade. Transportes inacessíveis, especialmente a pessoas com deficiências motoras, podem dificultar a procura de emprego, o usufruto duma educação escolar adequada, a deslocação a hospitais ou a centros de saúde e ainda limitar as suas atividades sociais (Department for International Development, 2004).

Países em desenvolvimento têm tido progressos significativos na melhoria da acessibilidade nos transportes a pessoas com deficiências, oferecendo maior segurança, conforto e qualidade de vida a estes cidadãos (Department for International Development, 2004).

## **2.2. Acessibilidade para pessoas com deficiência**

Acessibilidade define-se como sendo a possibilidade de pessoas com deficiência terem acesso a qualquer um dos meios de edificação pública ou privada, às habitações e às instalações desportivas, a tecnologias de informação/comunicação e aos transportes (Bettencourt, 2005; Charana, 1994).

Uma pessoa com deficiência poderá ser considerada como alguém que apresente uma anomalia ou perda das funções ou estruturas do corpo, incluindo as psicológicas, encarando dificuldades específicas que lhe limitem a sua atividade e participação na vida social, cultural e económica, ou a conjugação destas (Bettencourt, 2005).

Segundo a portaria nº 24/82 de 12 de janeiro, do Diário da República, considera-se como deficiente motor, todo aquele que seja portador de deficiência de grau igual ou superior a 60%, desde que a mesma lhes dificulte a locomoção na via pública sem o auxílio de outra pessoa ou recurso como cadeiras de rodas, muletas, bengalas ou próteses, e que tenha dificuldade em aceder e utilizar transportes públicos normais (Diário da República N.º 9, 1982).

De acordo com os dados recolhidos à data dos Censos 2001, sofrendo estes atualizações progressivas, tendo a última sido efetuada a 31 de maio de 2007, a qual se apresenta na tabela 2.1., verifica-se que em Portugal cerca de metade dos habitantes com deficiência não têm qualquer grau de deficiência atribuído (341 mil), enquanto a restante metade tem um grau de deficiência associado.

| Local de residência (à data dos Censos 2001) | Grau de incapacidade atribuído (N.º) à população residente com deficiência por Local de residência (à data dos Censos 2001) e Escalão dos graus de deficiência; Decenal |                                   |  |   |   |  |
|--|---|-----------------------------------|--|---|---|--|
|  | Período de referência dos dados   |                                   |  |   |   |  |
|  | 2001  |                                   |  |   |   |  |
|  | Escalão dos graus de deficiência  |                                   |  |   |   |  |
|  | Total   | Sem grau de deficiência atribuído | Tem grau de deficiência atribuído inferior a 30% | Tem grau de deficiência atribuído entre 30% e 59% | Tem grau de deficiência atribuído entre 60% e 80% | Tem grau de deficiência atribuído superior a 80% |
|  | N.º   | N.º                               | N.º  | N.º   | N.º   | N.º  |
| Portugal                                     | 636 059   | 341 133                           | 56 103   | 63 461  | 101 518   | 73 844   |
| Continente                                   | 613 762   | 329 542                           | 54 231   | 60 899  | 98 132  | 70 958   |
| Região Autónoma dos Açores                   | 10 314  | 5 721                             | 720  | 1 043   | 1 663   | 1 167  |
| Região Autónoma da Madeira                   | 11 983  | 5 870                             | 1 152  | 1 519   | 1 723   | 1 719  |

Grau de incapacidade atribuído (N.º) à população residente com deficiência por Local de residência (à data dos Censos 2001) e Escalão dos graus de deficiência; Decenal - INE, Recenseamento da População e Habitação

Tabela 2.1 – Grau de incapacidade atribuído à população residente com deficiência por local de residência (à data dos Censos 2001) e escalão dos graus de deficiência (Censos, 2001).

Constata-se ainda que cerca de 175 mil habitantes têm um grau de deficiência superior a 60%, isto é, aproximadamente um quarto da população com deficiência em Portugal, à data da atualização, é considerada portadora de deficiência motora, o que é um número considerável.

Com base ainda em dados recolhidos com o Recenseamento Geral à população realizado em 2001, são muitas as pessoas com deficiência no distrito de Lisboa, havendo cerca de 25 000 pessoas com deficiência visual, de igual valor com deficiência auditiva e cerca de 50 000 pessoas com reduzida mobilidade motora (CM-Lisboa, 2004).

Como é compreensível, este tipo de pessoas necessita de atenção especial, tentando-se ao máximo desenvolver e adaptar “toda” a sociedade, de modo a facilitar a sua acessibilidade.

### 2.3. Acessibilidade nos Transportes em Portugal

As formas de acessibilidade no transporte têm sofrido vários desenvolvimentos, a nível nacional e internacional, de modo a haver inclusão na sociedade de todos aqueles que possuam deficiências. Para tal, grande parte dos transportes públicos já possui adaptações específicas, de modo a facilitar o transporte e utilização para estas pessoas. De acordo com o artigo 33º (Direito aos transportes), do capítulo IV, da Lei n.º 38/2004, de 18 de agosto, é da competência do Estado adotar medidas necessárias que assegurem o acesso de pessoas com deficiência à utilização de transportes públicos e outros tipos de transporte, bem como a ação de apoio social (Diário da República N.º 194, 2004).

Todas as medidas consideradas prioritárias pelo Governo relacionadas com acessibilidade nos transportes encontram-se descritas no Plano de Ação para a Integração das Pessoas com

Deficiências ou Incapacidades (PAIPDI) e no Plano Nacional de Promoção da Acessibilidade (PNPA), (Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social, 2006; INReabilitação, 2012). Segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 88/2008 o Plano de Ação para a Integração das Pessoas com Deficiências ou Incapacidades foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 120/2006, de 21 de setembro. Este plano contém não só medidas relacionadas com acessibilidade nos transportes, mas também de um modo geral, todas as medidas para combate da exclusão destes cidadãos, criando assim condições que garantam a sua plena participação na sociedade (Diário da República N.º 103, 2008).

Segundo o artigo 4.º, do capítulo II, da Lei n.º 46/2006, de 28 de agosto, que proíbe e pune a discriminação em razão da deficiência e da existência de risco agravado de saúde, é considerada como prática discriminatória “a recusa ou a limitação de acesso aos transportes públicos, quer sejam aéreos, terrestres ou marítimos” (Diário da República N.º 165, 2006).

### **2.3.1. Transportes Públicos**

#### **2.3.1.1. Táxis adaptados**



Os táxis são um dos meios de transporte onde se faz sentir este desenvolvimento verificando-se a existência de táxis adaptados no nosso país, embora que ainda em reduzido número. Em algumas localidades do País, como por exemplo na cidade de Lisboa, existem táxis totalmente adaptados com rampa e bancos com movimento de rotação. Os táxis adaptados devem estar de acordo com o Despacho n.º 18406/2004, que define as características específicas a que devem obedecer para poderem transportar pessoas com mobilidade reduzida (Despacho n.º 18406/2004, 2004).

#### **2.3.1.2. Transportes Rodoviários**



Também poderão ser referenciados os transportes rodoviários, onde existem autocarros acessíveis nos meios urbanos, com maior incidência nas cidades de Lisboa, Porto e Coimbra. Na cidade de Lisboa, funciona o serviço de transporte adaptado efetuado em autocarros normais com rampa ou por Mini-Bus, denominados de “Porta a Porta”, sendo estes da responsabilidade da Carris, possuindo cada um capacidade para 5 lugares sentados e 5 cadeiras de rodas, tendo plataforma elevatória para acesso das mesmas.



Atualmente a Carris garante que mais de 90% dos seus autocarros dispõem de piso rebaixado entre as portas de entrada e saída, sendo que em 2010 mais de 45% da frota encontrava-se equipada com condições de acessibilidade total, isto é, com espaço para cadeiras de rodas, rampas de acesso e algumas rampas elétricas (Carris, 2012).

Na cidade do Porto o transporte é efetuado por uma “rede de acesso fácil”, que dispõe de cerca de 175 autocarros com rampa de acesso a cadeiras de rodas, sendo este da responsabilidade dos Serviços de Transportes Coletivos do Porto (STCP). Na cidade de Coimbra existem alguns Mini-Bus adaptados, pertencendo estes aos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC), funcionando de forma idêntica aos já referenciados anteriormente (INR, 2012).

Segundo o Decreto-Lei n.º 58/2004, de 19 de março, não é permitida a entrada de novos autocarros para transporte público urbano em circulação, sem possuírem acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida. Em oposição, esta legislação não é aplicável a autocarros de anos anteriores a 2004, não impedindo assim a sua introdução em circulação (Diário da República N.º 67, 2004).

Também algumas empresas de transporte de longas distâncias, como por exemplo a Barraqueiro Transportes SA, já possuem autocarros adaptados com plataforma elevatória, de forma a facilitar o acesso ao seu interior, com comodidade e segurança, a passageiros com mobilidade reduzida (Barraqueiro Transportes, 2012).

### **2.3.1.3. Transportes Ferroviários**



Também nos transportes ferroviários se verificam adaptações de acessibilidade, tanto a nível exterior, isto é, nas estações, como a nível interior dos comboios. Em muitas das estações já se verificam acessos com rampas em vez de escadas, nivelamento das entradas para os comboios, o piso regular, entre outros fatores. A nível interior, tem-se assistido à modernização de carruagens com espaços adaptados ao transporte de passageiros em cadeiras de rodas, com cintos de segurança que garantem a imobilização da cadeira, informação sonora e visual no interior das carruagens, indicadores laterais que apresentam o destino e casas de banho adaptadas para comboios de maiores cursos. Todas estas características têm sido implementadas, embora ainda não se encontrem em utilização em todas as estações e comboios (INR, 2012; Portugal Acessível, 2012).

#### 2.3.1.4. Metropolitano



No metropolitano de Lisboa como no do Porto, também já se verifica a implementação de acessibilidade para pessoas com deficiências, nomeadamente em cadeiras de rodas ou cegas. Essa acessibilidade não é total na cidade de Lisboa onde ainda se verificam algumas dificuldades por parte dos utilizadores em algumas das estações, uma vez que ainda não se encontram completamente adaptadas. Mesmo assim a empresa está a tentar realizar melhorias continuamente, com o objetivo de fornecer a estas pessoas uma maior independência. Já no metropolitano do Porto, o conforto, a segurança e acessibilidade a pessoas com deficiência motora que utilizem cadeiras de rodas é assegurada, tendo para o efeito dois lugares reservados exclusivamente a cadeiras de rodas em cada carruagem e a indicação sonora e visual do destino e próxima estação, tanto no seu interior como no exterior (Bettencourt, 2005; INR, 2012).

#### 2.3.1.5. Elétricos



Quanto aos elétricos, a acessibilidade ainda é muito reduzida, embora que em Lisboa, algumas linhas, já tenham disponíveis paragens com zonas sobrelevadas, de forma a tornar possível e estável a transição da cadeira de rodas entre o cais e o elétrico (INR, 2012).

#### 2.3.1.6. Transportes aéreos



Nos transportes aéreos constata-se que em todos os aeroportos internacionais existe acessibilidade, desde as casas de banho adaptadas até ao transporte dentro do próprio aeroporto, onde as pessoas com deficiências motoras são assistidas por pessoal da própria companhia em todo o tipo de procedimento, desde o check-in até ao interior do avião. Alguns dos aeroportos, como o do Porto, Lisboa e Faro dispõem também de veículos adaptados que transportam até 6 cadeiras de rodas para movimentar os passageiros das instalações até ao avião, oferecendo conforto e segurança (Bettencourt, 2005; INR, 2012).

#### 2.3.1.7. Transportes Fluviais



Ainda nos transportes, referindo-se neste ponto os transportes fluviais, alguns apresentam ainda limitações na acessibilidade a passageiros que se desloquem em

cadeiras de rodas. Na zona de Lisboa, na empresa Transtejo, dependendo do tipo de barco e viagem a realizar, existem algumas limitações. Os barcos denominados de Cacilheiros dedicados exclusivamente ao transporte de passageiros, não dispõem de condições para o transporte de cadeiras de rodas, já nos barcos mais recentes chamados de Catamarans, estes possuem rampas de acesso e amplos espaços para a circulação e permanência de pessoas em cadeiras de rodas, embora que apenas poucas unidades dispõem de acessibilidade total, com sanitários adaptados e sistemas de fixação de cadeiras de rodas. Na generalidade, para pessoas em cadeiras de rodas, este meio de transporte ainda não garante completa segurança, conforto e acesso (INR, 2012).

### **2.3.2. Transportes Privados/Pessoais**

#### **2.3.2.1. Automóveis pessoais**



Por vezes, algumas pessoas, devido à complexidade da sua deficiência, não podem utilizar transportes públicos, possuindo as suas próprias viaturas. Outros casos são aqueles, que por uma questão de escolha, desde que as suas aptidões físicas e mentais o permitam, preferem ter o seu próprio automóvel, podendo utilizá-lo sempre que desejem sem ter que depender de outros.

Se necessário, deverá ser concedido apoio financeiro a estas pessoas, para aquisição e adaptação das suas viaturas, variando esse apoio consoante o grau de deficiência de cada um (Charana, 1994).

#### **2.3.2.2. Carrinhas adaptadas**



Algumas instituições, como por exemplo a Santa Casa da Misericórdia e a Cerci, possuem também as suas próprias viaturas, estando essas adaptadas para o transporte de pessoas com deficiências motoras.

É de referir ainda o transporte disponibilizado gratuitamente pela Câmara Municipal de Lisboa (C.M.L.), a pessoas com deficiências motoras sem possibilidades financeiras, sendo este efetuado em viaturas adaptadas, dentro da cidade de Lisboa. Este transporte faz parte integrante de dois programas, sendo estes o “Programa de Apoio à Mobilidade” e o “Programa de Transporte Escolar Adaptado”. Este tipo de transporte é o que irá ser mais focado ao longo do projeto, sendo o seu conteúdo mais detalhado no tópico respetivo (CML, 2012).

## **2.4. Apoio da C.M.L. no transporte adaptado para deficientes motores**

Até ao ano de 1990, o transporte de deficientes motores em Portugal era muito reduzido ou mesmo inexistente, o que não se verificava no nosso país de fronteira, os nossos “vizinhos” Espanhóis. Nesse mesmo ano, surgiu por parte da C.M.L. a ideia de desenvolver meios que possibilitassem a mobilidade destas pessoas, oferecendo-lhes assim uma melhor vida diária. Este projeto iria ao encontro da redução de barreiras anteriormente encontradas pelos deficientes motores na utilização dos transportes, tendo a C.M.L. investido nesta área, desenvolvendo as primeiras carrinhas ligeiras adaptadas.

Atualmente este apoio da C.M.L. encontra-se dividido em duas áreas, classificadas como Pelouros, sendo estes distintos e ditos como “Pelouro da Educação e Juventude” e “Pelouro de Ação Social”.

O pelouro da Educação e Juventude, pertencente ao Departamento de Educação e Juventude (DEJ), é responsável pelo “Programa de Transporte Escolar Adaptado”, tendo este programa o objetivo de responder às necessidades de transporte dos munícipes de Lisboa, com deficiência. Este programa destina-se exclusivamente a crianças e jovens estudantes do ensino obrigatório no transporte diário entre as suas residências e a escola que frequentam, ou vice-versa. Na atualidade a C.M.L. possui, em funcionamento permanente, 5 carrinhas adaptadas que dão resposta a 88 crianças e jovens da cidade de Lisboa, oferecendo-lhes um maior conforto, comodidade e segurança de deslocação (CMLisboa, 2012).

Quanto ao pelouro de Ação Social, pertencente ao Departamento de Desenvolvimento Social (DDS), é responsável pelo “Programa de Apoio à Mobilidade”, destinando-se este exclusivamente a jovens e adultos com multideficiências, com especial atenção para pessoas com mobilidade reduzida que se desloquem em cadeiras de rodas. Poderão somente beneficiar deste programa os munícipes com deficiência que tenham idade superior a 12 anos e que não estejam a frequentar estabelecimentos oficiais de ensino até ao 12º ano, estando também excluídas, todas as pessoas que pretendam deslocar-se a Centros de Saúde, Hospitais, ou Atividades de Lazer. De referir que os pedidos apresentados por jovens nestas situações (com idade inferior a 12 anos e que frequentem o ensino até ao 12º ano) são reencaminhados para o Departamento de Educação e Juventude da C.M.L., de modo a poderem usufruir do programa mencionado anteriormente.

Atualmente o programa assegura o transporte regular, de segunda a sexta-feira durante onze meses do ano, a 12 pessoas nas condições anteriormente mencionadas, podendo também

funcionar ao fim de semana para executar funções suplementares organizadas por instituições particulares de solidariedade social. No anexo VII, poderão ser consultados os critérios de seleção e sua ponderação, presentes no protocolo de colaboração da Elo Social com a C.M.L., das pessoas que apresentam maior direito a usufruir de tal programa.

## **2.5. Histórico da C.M.L. na atualização de viaturas ligeiras para transporte adaptado a deficientes motores**

De acordo com dados históricos foi possível descrever e quantificar as viaturas ligeiras adaptadas ao transporte de deficientes motores que existiram, ou ainda existem em funcionamento na C.M.L.. Foi também possível obter informação do modo de operacionalização de cada viatura, por consulta de dados internos da C.M.L. e pela visualização no próprio terreno, permitindo deste modo verificar as atualizações e melhorias obtidas ao longo do tempo, desde a primeira viatura adquirida até às mais recentes aquisições.

Um dos aspetos a focar em primeiro lugar será o nível de acessibilidade à entrada e saída de passageiros em cadeiras de rodas. Nas primeiras viaturas, o acesso era efetuado por rampas manuais na parte traseira da mesma, onde o condutor ou assistente teria que, manualmente, fazer mover a plataforma de modo a criar uma rampa com inclinação adequada à entrada do passageiro sentado na sua cadeira de rodas. A deslocação da cadeira de rodas desde o solo até à superfície da viatura, passando pela rampa, teria que ser feita pelo esforço físico do assistente do condutor, uma vez que era inexistente qualquer sistema de auxílio.

Quanto à comodidade e à disposição dos bancos no interior da viatura, esta era equipada com bancos laterais duplos (de dois ocupantes cada um), isto é, os utilizadores que viajassem sentados, teriam que o fazer perpendicularmente ao sentido de deslocação da mesma, utilizando-se para o efeito de cinto de segurança tubos metálicos devidamente almofadados, do tipo de sistema implementado nos mais vulgares sistemas de diversão (montanha russa). Os passageiros que se fizessem deslocar em cadeiras de rodas, esta seria fixada à superfície interior da carrinha a fim de se evitar a sua deslocação com possíveis travagens, indo ao encontro do ponto 12.12.24, da norma EN ISO 9999 de 2007, onde se classificam como dispositivos para fixar as cadeiras de rodas ao veículo (EN ISO 9999, 2007).

Em relação às duas portas frontais, como a lateral direita (apenas do lado do passeio), e as duas restantes à retaguarda da viatura, seriam de abertura manual, embora a sua abertura apenas fosse possível de efetuar pelo assistente ou próprio condutor.

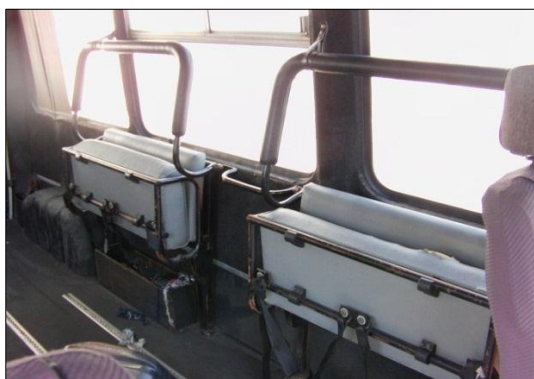
Posteriormente, com os novos desenvolvimentos e estudos nesta área, foi possível a adaptação de novas viaturas com o mesmo fim, possuindo estas melhores e maior número de funcionalidades. Estas mantiveram a acessibilidade a cadeiras de rodas apenas pelas portas traseiras, embora neste caso a existência de uma plataforma elevatória eletro-hidráulica, como representada na figura 2.1, veio poupar esforço físico ao assistente e condutor. Segundo o ponto 12.12.18 da norma EN ISO 9999 de 2007, que define produtos de apoio a pessoas com deficiências, estas plataformas são classificadas como dispositivos de elevação para auxiliar a pessoa sentada na cadeira de rodas a entrar ou sair da viatura (EN ISO 9999, 2007).



Figura 2.1 – Plataforma elevatória eletro-hidráulica montada numa viatura da C.M.L. (Fotografia obtida em: Instalações da C.M.L.).

Esta plataforma teria que ser aberta manualmente por meio de uma alavanca, sendo apenas automatizado o seu movimento descendente e ascendente.

O acondicionamento de cadeiras de rodas no seu interior era efetuado de maneira idêntica à referida anteriormente, havendo diferenças apenas para os passageiros que viajassem sentados nos bancos, uma vez que foram aplicados cintos de segurança para além dos tubos metálicos utilizados. Este tipo de sistema pode ser visualizado na figura 2.2 a), montado numa viatura que já não se encontra em circulação por não oferecer todas as condições de segurança necessárias.



a)



b)

Figura 2.2 – Interior de duas viaturas de transporte adaptado da C.M.L. a) Sistema com bancos corridos de utilização para duas pessoas; b) Sistema com bancos unitários (Fotografias obtidas em: Instalações da C.M.L.).

Ao surgirem novas necessidades e oferta de maior segurança, comodidade e conforto aos utilizadores, as seguintes viaturas vieram adaptadas com bancos laterais mas desta vez de utilização unitária e cintos de segurança mais eficientes, como se verifica na figura 2.2 b). Segundo o ponto 12 12 09 da norma EN ISO 9999 de 2007, que define produtos de apoio a pessoas com deficiências, estes cintos de segurança são classificadas como cintos ou sistemas de correias que seguram a pessoa, garantindo a sua segurança em viagem, incluindo cintos de três ou quatro pontos de fixação e coletes de tronco (EN ISO 9999, 2007). Esta renovação permitiu oferecer ao ocupante um maior conforto e largueza, acarretando também o facto de se conseguir obter uma maior arrumação e organização no habitáculo da carrinha, uma vez que só seriam abertos os bancos unitariamente consoante a sua utilização. Nas viaturas anteriores, onde os bancos eram duplos, no caso de ser apenas necessário transportar uma pessoa sentada o banco teria que ser totalmente aberto, ocupando e retirando espaço ao habitáculo, impossibilitando por exemplo a entrada de mais uma cadeira de rodas.

Ao contrário dos anteriores veículos, este viria equipado com uma porta lateral de acionamento elétrico permitindo deste modo ao condutor, após paragem completa da viatura, fazer a sua abertura sempre que o assistente o solicitasse. É de referir que estas viaturas ainda se encontram em plena circulação, uma vez que apresentam todas as condições necessárias ao correto funcionamento.

Nas mais recentes aquisições verificam-se algumas alterações, tanto no seu aspeto exterior e interior como no equipamento disponibilizado. No seu interior verifica-se que a orientação dos bancos, ao contrário das viaturas anteriormente descritas, é feita no sentido de deslocação da viatura (virados para a frente), sendo estes fixos à superfície não permitindo a sua rotação nem arrumação (figura 2.3 a ). Contudo é possível o transporte de cadeiras de rodas, uma vez que entre os bancos existe espaço suficiente para o fazer.

Em relação à porta lateral, a sua abertura é feita automaticamente pelo condutor, oferecendo contudo maior segurança uma vez que possui um comando de abertura de emergência pelo exterior da viatura, como se visualiza na figura 2.3 b).

Ao contrário de todas as viaturas anteriores, onde o acesso a cadeiras de rodas era feito exclusivamente pela porta traseira, tal facto não acontece aqui, visto possuir uma plataforma elevatória na porta traseira e uma rampa manual na porta lateral.



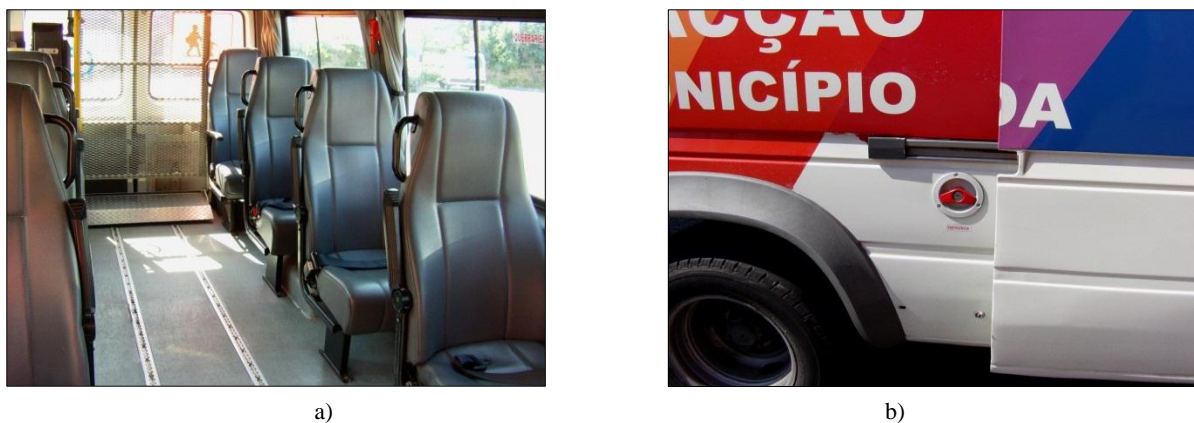


Figura 2.3 – a) Interior de uma das viaturas mais recentes onde se visualiza a orientação dos bancos; b) Comando de abertura de emergência pelo exterior da viatura (Fotografias obtidas em: Instalações da C.M.L.).

Nesta viatura a plataforma elevatória já é completamente automatizada, sendo apenas necessário premir alguns botões para controlo da mesma, ao contrário do que acontecia nos casos anteriores.

A rampa lateral (visível na figura 2.4 b) ), embora manual, oferece uma elevada utilidade aquando é necessária a recolha de pessoas em cadeiras de rodas em locais de difícil acesso como ruas com muito tráfego ou de desnível acentuado, como muitas da cidade de Lisboa.



Figura 2.4 – a) Plataforma elevatória de abertura automática; b) Rampa manual instalada na mesma viatura (Fotografias obtidas em: Instalações da C.M.L.).

A referida rampa encontra-se embutida dentro da própria carrinha, sendo fácil a sua utilização localização, e acesso, necessitando apenas ser puxada para o exterior como se pode verificar na figura 2.5 a). Nas anteriores viaturas, como é visível pela figura 2.5 b), esta rampa não era disponibilizada. Também se verifica pela figura 2.5 b) que nas anteriores viaturas existia um degrau fixo no exterior da viatura, que por vezes colidia em passeios ou zonas sobrelevadas do pavimento uma vez que não era retrátil. Na viatura mais recente este degrau não era montado (figura 2.5 a) ) devido ao piso interior ser mais baixo que nas anteriores, conseguindo-se obter na mesma uma boa acessibilidade.





Figura 2.5 – a) Viatura mais recente com montagem de rampa manual; b) Viatura mais antiga com degrau fixo no exterior da viatura (Fotografias obtidas em: Instalações da C.M.L.).

Neste trabalho serão estudados e desenvolvidos diferentes sistemas, com o intuito de se aplicarem no desenvolvimento da nova viatura, trazendo deste modo maior segurança, conforto e comodidade de transporte a pessoas com mobilidade reduzida.

A nova viatura será desenvolvida tendo como referência as características exigidas pela Lei nº 13/2006 (transporte coletivo de crianças), ao contrário das que estão em funcionamento atualmente.

Devido à inexistência da Lei nº 13/2006 no ano de construção das atuais viaturas em funcionamento, estas não respondiam às suas exigências, embora tivessem sido modificadas e atualizadas com a entrada da Lei em vigor.

## **2.6. Sistemas de fixação de cadeiras de rodas no interior de viaturas**

As cadeiras de rodas são concebidas principalmente para facilitar e permitir a mobilidade àqueles que possuem incapacidades motoras. No entanto, quando se trata do seu transporte em veículos estas devem permanecer fixas ao pavimento, para que daí não advenham acidentes graves que ponham em risco a segurança do utilizador, em caso de travagem ou colisão.

Como em alguns casos não se torna possível e prático transferir o utilizador da cadeira de rodas para um dos assentos do veículo, embora preferível visto oferecer maior conforto e segurança, o seu transporte tem que ser efetuado na sua própria cadeira, por isso, todas as precauções de fixação devem ser tomadas.

Os sistemas de fixação para cadeiras de rodas, como o seu nome indica, têm o objetivo de proporcionar uma proteção eficaz para o ocupante sentado na cadeira de rodas, não

permitindo a sua deslocação no interior da viatura em caso de acidente ou travagem. Esta fixação é obtida através da utilização de cintas específicas para o efeito, indo ao encontro do ponto 12.12.24, da norma EN ISO 9999 de 2007, onde se classificam como dispositivos para fixar as cadeiras de rodas ao veículo (EN ISO 9999, 2007).

Para especificar os requisitos dos sistemas de fixação de cadeiras de rodas e os dispositivos de retenção apropriados, existe a norma ISO 10542-1. A segunda parte da norma, ou seja, a ISO 10542-2, apresenta por sua vez os requisitos específicos e métodos de ensaio para cadeiras de rodas fixas à viatura com dispositivos de retenção montados na própria viatura de transporte (WTORS – Wheelchair tiedown and occupant restraint systems) (ISO 10542-2, 2001).

Os métodos de ensaio especificados pela norma ISO 10542 estão associados a sistemas WTORS, onde as cadeiras de rodas (manuais ou elétricas) destinadas a serem utilizadas por adultos ou crianças de massa igual ou superior a 22kg, se encontram orientadas para a frente da viatura, realizando-se testes de impacto frontal a uma velocidade de 48 km/h. No caso de pessoas adultas, estão considerados os casos destes poderem ser passageiros ou condutores do veículo. As cadeiras de rodas, manuais ou elétricas, consideradas nos ensaios cumprem com os requisitos da norma ISO 7176-19 (ISO 10542-5, 2004).

Outra norma que referencia de modo semelhante o mesmo tipo de sistema de restrição (WTORS), bem como os requisitos para o teste de impacto frontal, é a SAE J2249 de 1999 (SAE J2249, 1999). Na figura 2.6 evidencia-se o ensaio de choque frontal referido anteriormente.



a)



b)

Figura 2.6 – Ensaio de choque frontal de acordo com as normas ISO 10542 e SAE J2249. a) Vista de frente da viatura de ensaio. b) Vista lateral da viatura de ensaio (Bermound et al., 2010).

### 2.6.1. Tipos de fixação

Segundo VanRoosmalen *et al.*, (2001) são testados e comparados dois tipos de sistemas de fixação de cadeiras de rodas ao interior de viaturas automóveis. Em ambos os testes foram utilizadas cadeiras idênticas na sua construção, com exceção apenas nos seus sistemas de fixação.

O primeiro tipo de sistema é definido por fixar diretamente o passageiro e a cadeira de rodas ao piso da viatura, utilizando para isso um sistema de retenção, ou seja, o cinto de segurança equipado no automóvel de transporte, independente da cadeira de rodas, e outro sistema de cintas para fixar somente a cadeira de rodas (FWORS – Fixed vehicle mounted wheelchair occupant restraint systems). Este sistema é o descrito na norma ISO 10542, designando-se por WTORS (Wheelchair tiedown and occupant restraint systems).

O outro tipo de sistema, passa por fixar somente a cadeira de rodas ao piso da viatura, com equipamento do automóvel de transporte, possuindo a própria cadeira um sistema de retenção instalado para fixação do passageiro à mesma (WIRS – Wheelchair seat integrated restraint system). Na figura 2.7, representam-se esquematicamente os dois tipos de sistemas referidos.

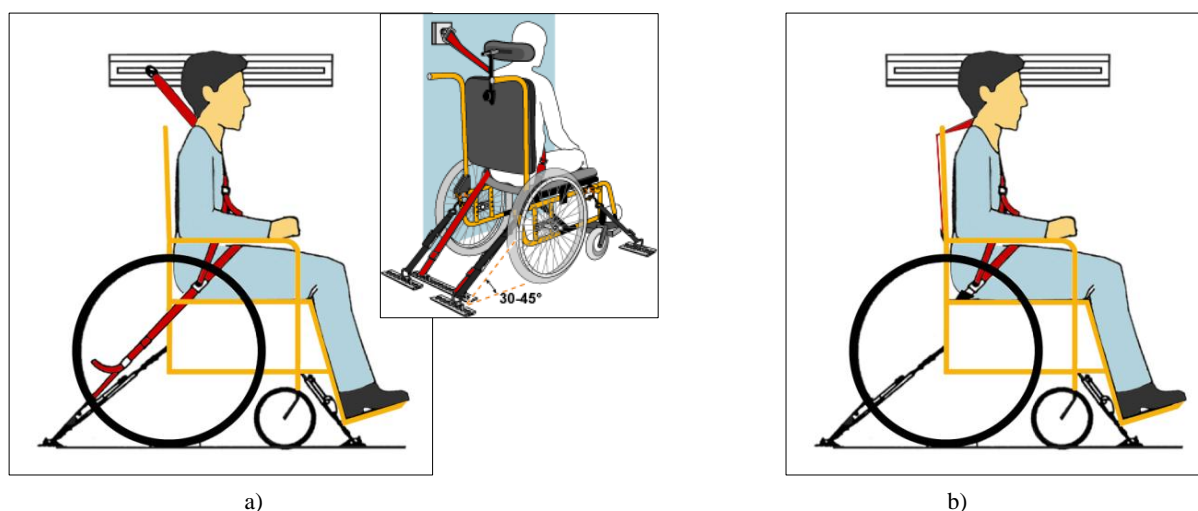


Figura 2.7 – Tipos de sistema de fixação de cadeiras de rodas ao interior de viaturas automóveis. a) Sistema FWORS (cinto de segurança equipado no automóvel de transporte). b) Sistema WIRS (cinto de segurança instalado na própria cadeira de rodas), Adaptado de: (Shaw, 2000).

Os testes realizados consistiram em simular o impacto frontal de cada uma das cadeiras de rodas, montadas sobre uma superfície com carris, a uma velocidade de 48 km/h e verificar os resultados obtidos, comparando-os, concluindo sobre os seus efeitos sobre o corpo humano. Para tal foi utilizado um boneco de testes (ATD – anthropomorphic test dummy) com a estrutura de um adulto, bem como os ângulos das correias de fixação idênticos aos descritos na norma ISO 10542 e representados na figura 2.8 (VanRoosmalen *et al.*, 2001).

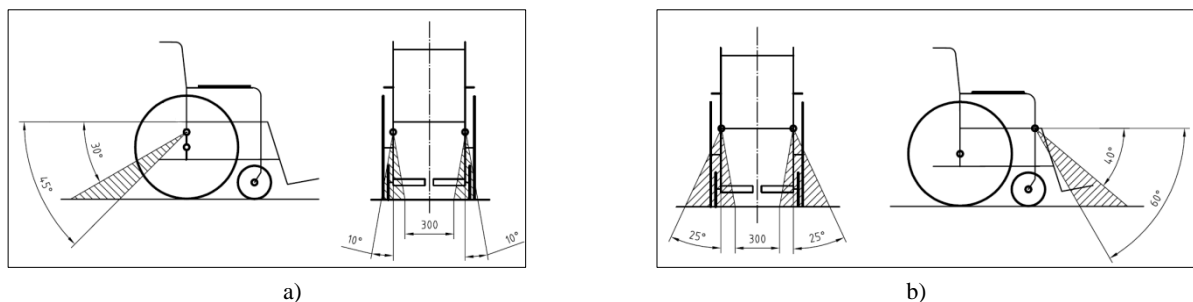


Figura 2.8 – Ângulos das correias de fixação descritos na norma ISO 10542. a) Ângulos das correias de fixação na traseira da cadeira de rodas. b) Ângulos das correias de fixação frontais na cadeira de rodas (ISO 10542-2, 2001).

Os testes realizados indicaram que ambos os sistemas são apropriados para a segurança dos passageiros, embora que do ponto de vista de construção das cadeiras, as que disponham do sistema WIRS tenham que possuir uma maior resistência estrutural de modo a suportar a carga aplicada nos cintos de segurança. Este sistema, WIRS, exige também à própria cadeira de rodas que venha equipada com o sistema de cinto de segurança, agregando maior massa e custo à mesma.

Também se verificou que no sistema WIRS há maior absorção de energia que no sistema FWORS, isto é, este último é mais rígido provocando um maior choque no peito e pescoço do passageiro, contudo haverá menor deslocamento do corpo e cabeça para a frente. No momento de recuperação do choque o sistema FWORS força o passageiro a escorregar para cima, devido à sua energia ainda ser elevada, perdendo o contacto com o assento e obrigando a cabeça a deslocar-se para traz, aumentando a suscetibilidade de ocorrência de traumatismos cranianos

Em contrapartida, no sistema WIRS a própria cadeira de rodas sofre a carga aplicada no sistema de retenção incorporado, podendo deformar-se e perder o contacto com a superfície nas rodas traseiras, absorvendo deste modo maior energia proveniente da colisão (VanRoosmalen *et al.*, 2001).

Segundo Bermound *et al.*, (2010), mais ensaios de impacto frontal foram realizados ao sistema de fixação referenciado na norma ISO 10542, revelando-se os seus resultados satisfatórios e em conformidade com os descritos por VanRoosmalen *et al.*, (2001). Alguns dos ensaios enunciados por Bermound *et al.*, (2010) serão tomados em consideração para o trabalho, no ponto onde se farão algumas simulações e testes.

Devido à inexistência de cinto de segurança incorporado em muitas das cadeiras de rodas em circulação, na viatura a desenvolver para os serviços da C.M.L. optou-se pela instalação do sistema FWORS, que respeita a norma ISO 10542.

### 2.6.2. Piso móvel no interior da viatura (plataforma de absorção de choque)

Qualquer choque ou colisão de uma viatura provoca uma paragem brusca da mesma, causando aos passageiros fortes impactos no seu corpo, mesmo que utilizem cinto de segurança. Foi então proposto por Balandin *et al.*, (2008) um sistema concebido para reduzir o risco de lesão do ocupante, em caso de colisão da viatura.

O sistema proposto consiste em adaptar uma plataforma móvel (onde será fixada a cadeira de rodas) separada do corpo do veículo, funcionando esta como isolador, isto é, numa colisão frontal da viatura a plataforma move-se em relação ao veículo, sendo minimizada a força transmitida para o ocupante da cadeira de rodas. Para isso, a plataforma estaria sobre duas calhas longitudinais ao sentido de movimento da viatura e teria montado um sistema de isolamento, composto por materiais que possuam uma boa deformabilidade elástica ou por molas e amortecedores, onde seria possível controlar a rigidez e o amortecimento. Foi considerado um sistema simples de um grau de liberdade (1GDL), considerando a massa da plataforma, da cadeira de rodas e do passageiro como uma só massa, tendo uma rigidez e um amortecimento.

Teve-se ainda em atenção que o deslocamento da plataforma, proveniente do amortecimento, não deveria ser elevado de modo a impedir o embate do passageiro nos restantes componentes da viatura, em caso de colisão.

Para testar o sistema proposto, foram realizadas simulações utilizando o programa MADYMO<sup>®</sup>, considerando-se o impacto frontal da viatura à mesma velocidade referida na norma ISO 10542 de 48 km/h, com o objetivo de se compararem os critérios de especial interesse e estudo (lesões por traumatismo craniano, lesões a nível do peito e lesões no pescoço) com o sistema convencional WTORS (Balandin *et al.*, 2008).

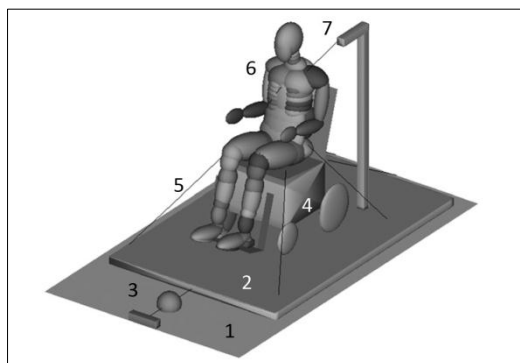


Figura 2.9 – Sistema de piso móvel no interior da viatura: (1) Piso interior da viatura a adaptar, (2) Plataforma de absorção de choque, (3) Isolador de impacto, (4) Cadeira de rodas, (5) Sistema de fixação da cadeira de rodas à plataforma, (6) Ocupante da cadeira de rodas, (7) Cinto de segurança, Adaptado de: (Balandin *et al.*, 2008).

A redução obtida nestes critérios, utilizando-se o sistema com plataforma de absorção de choque comparativamente com o sistema de fixação da cadeira de rodas diretamente ao veículo, variou em cerca 71% para o critério de lesões por traumatismo craniano, em cerca de 29% para os valores de deflexão a nível do peito e aproximadamente em 58% para as lesões no pescoço. Consegue-se também obter uma redução na aceleração do tórax de 46% e de 43% na força exercida pelas cintas nas zonas de fixação da cadeira de rodas, advindo daí, uma menor danificação da estrutura da mesma em caso de colisão (Balandin *et al.*, 2008).

Um estudo realizado por Shaw, (2000), baseado apenas em colisões frontais, demonstrou que a taxa de mortalidade para autocarros ou mini-bus é consideravelmente menor do que para carrinhas pequenas de passageiros, sendo essa taxa inversamente proporcional às dimensões do veículo de transporte.

Tomados estes factos é sugerido por Balandin *et al.*, (2008), que a utilização desta plataforma de absorção de choque seja mais apropriada para carrinhas pequenas de passageiros do que em viaturas de maiores dimensões, conseguindo deste modo, reduzir consideravelmente o risco de lesão do ocupante em caso de acidente, embora que, associado a estes benefícios advenha o aumento do custo global do veículo como desvantagem.

## **2.7. Causas de acidentes com cadeiras de rodas em transportes**

A segurança de passageiros sentados em cadeiras de rodas, em transportes públicos, durante os últimos anos tem sido um assunto de grande interesse. Este nível de segurança depende de muitos fatores, os quais tem vindo a ser melhorados ou alterados com o objetivo constante de maximizar a segurança oferecida a estes passageiros.

Segundo Wretstrand *et al.*, (2004) foram estudados na Suécia, com base em questionários, os seguintes incidentes em transportes com cadeiras de rodas, sendo definidos estes como: acidentes provocados pela colisão do veículo; acidentes causados por travagem / aceleração; acidentes durante o embarque / desembarque; acidentes durante o transporte para o veículo e acidentes causados por outras razões. Na figura 2.10 é apresentado um diagrama, onde se referenciam os vários incidentes, identificando-se aqueles com maior incidência.

A causa mais comum de acidente foi devida a travagem / aceleração durante o transporte de passageiros, provenientes de rápidas mudanças de velocidade em cruzamentos ou a má fixação das cadeiras de rodas e passageiros à viatura de transporte. A segunda maior causa de

acidente verifica-se no embarque / desembarque de cadeiras de rodas, tanto para plataformas de elevação elétricas como manuais, ocorrendo com maior gravidade para cadeiras elétricas onde o seu peso é mais significativo dificultando a operação. Para minimizar estes incidentes o condutor e operador das plataformas devem ter formação e experiência adequada, prevenindo e oferecendo maior segurança aos utilizadores.

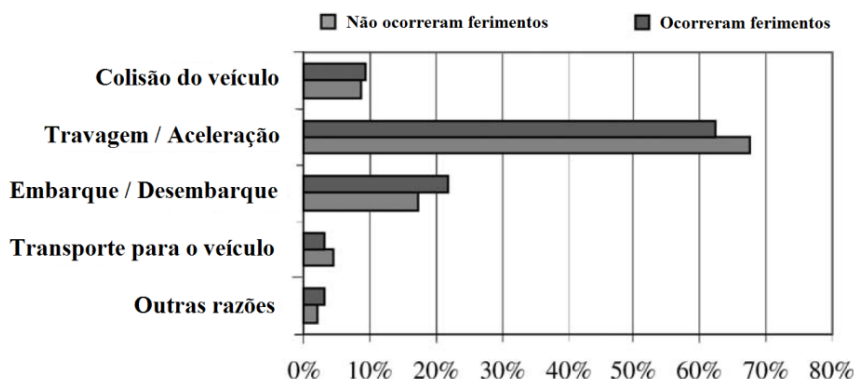


Figura 2.10 – Ocorrência dos vários tipos de incidentes em transportes com cadeira de rodas, Adaptado de: (Wretstrand et al., 2004)

Foi ainda revelado por Wretstrand *et al.*, (2004), que a grande maioria, ou seja, cerca de 97% dos passageiros utilizam sempre os sistemas de fixação da cadeira de rodas ao interior da viatura, embora apenas 78% utilizem também o cinto de segurança.

Segundo Schneider *et al.*, (2010), o resultado de 39 investigações a casos reais de acidentes em transportes, envolvendo 42 cadeiras de rodas, foram aprofundados e detalhados determinando-se as principais causas destes acidentes. Dos 39 acidentes, 9 foram investigados pela Administração Nacional de segurança do trânsito nas estradas (NHTSA's - National Highway Traffic Safety Administration's) e as restantes 30 pela universidade (UMTRI - University of Michigan Transportation Research Institute).

Identificou-se que, 34 das 42 cadeiras de rodas em estudo estariam fixas ao interior da viatura, permanecendo estas no seu local inicial durante o acidente. No entanto, 30 dos 42 passageiros foram indevidamente retidos durante a colisão, devido à inadequada colocação do cinto de segurança ou mesmo da sua inexistente utilização. Em consequência dos acidentes resultaram ferimentos graves sofridos por 26 ocupantes e a morte de 10 (entre os 42 passageiros), sendo estes últimos vítimas diretas dos acidentes ou por complicações resultantes dos mesmos.

Estes resultados, tendo em conta que grande parte dos ocupantes viajavam como passageiros e não como condutores, revelam a falta de formação e educação no âmbito da correta fixação e colocação do cinto de segurança, por parte do condutor que os transportava (Schneider *et al.*, 2010).



## **2.8. Especificações técnicas propostas para a construção e transformação da viatura**

Com o objetivo de desenvolver uma viatura devidamente equipada, onde se ultrapassem todos os obstáculos encontrados até ao momento noutras viaturas, serão feitas ao construtor e ao transformador da carroçaria várias exigências que deverão ser cumpridas ao longo do progresso da transformação, sendo da responsabilidade destas entidades, confirmar se será possível responder a todas elas, agindo sempre em conformidade com a lei.

Nas próximas subsecções são apresentadas todas as especificações técnicas propostas pela C.M.L., tendo estas sido entregues ao construtor e ao transformador na forma de um caderno de encargos, devidamente elaborado nas próprias instalações da C.M.L.. Na elaboração deste caderno de encargos, no qual tive possibilidade de participar, foram tidos em consideração problemas encontrados em viaturas anteriores, bem como todas as necessidades surgidas ao longo do tempo e também sugestões de melhoria propostas pelos próprios condutores e auxiliares de condutor, uma vez que são estes que fazem a utilização destas viaturas diariamente e as conhecem com maior detalhe. Nas especificações enunciadas de seguida, foram tidas em conta as características exigidas na Lei n.º 13/2006, de transporte coletivo de crianças, uma vez que será essa uma das características da viatura (Diário da República N.º 75, 2006).

### **2.8.1. Especificações técnicas do chassis, exigidas ao construtor da viatura**

Nas especificações técnicas do chassis da viatura, exigidas ao seu construtor, enunciam-se as seguintes:

- O veículo a fornecer deverá ter a categoria de ligeiro sendo o seu peso bruto de 3500 quilogramas, ter uma lotação de 9 lugares e ser toda vidrada, possuir uma distância entre eixos próxima de 4,30 metros e comprimento máximo próximo de 7 metros.
- A viatura deverá ser equipada com motor turbo diesel, de cilindrada entre 2000 e 2200cc e potência superior a 90 kW, possuir binário elevado a baixos regimes, sendo que, as relações da caixa de velocidades devem permitir subir com facilidade as rampas de maior declive e ser adequada a um serviço em carga constante prestado essencialmente na cidade de Lisboa.
- A viatura deverá ter um pequeno raio de viragem e direção assistida, de modo a proporcionar uma fácil condução no trânsito urbano, devendo os travões ser de duplo circuito óleo-hidráulico, servo-assistido e dotado de sistemas ABS, ASR e ESP.



- A altura útil interior deverá ser mínima de 1,80 metros, de modo a permitir a circulação em pé, sem perigo de colisão.
- A viatura deverá estar equipada com tacógrafo devidamente homologado e aferido, conta rotações do motor, faróis de nevoeiro e sistema de ar condicionado.
- A suspensão deverá garantir segurança e comodidade e ser adaptada ao tipo de transporte a efetuar.
- A viatura deverá ser fornecida em cor branca e outras (decoreação exterior a designar).
- Autorrádio com leitor de CD e altifalantes bem distribuídos pela viatura, com painel destacável, código de segurança ou outro sistema de segurança semelhante.
- Espelhos retrovisores exteriores com regulação elétrica.
- Tapetes amovíveis na zona do condutor e acompanhante.

### **2.8.2. Especificações técnicas do carroçamento, exigidas ao transformador da viatura**

Nas especificações técnicas do carroçamento de adaptação a transporte de deficientes motores, exigidas ao transformador da viatura, enunciam-se as seguintes:

- A viatura deverá estar dotada, na sua traseira, de uma plataforma elevatória hidráulica, de acionamento elétrico, para facilitar a entrada e saída dos utilizadores em diferentes tipos de cadeiras de rodas, com capacidade de carga de 300kg e 1,20 metros de comprimento.
- Deverão ser colocadas condutas laterais, que não ocupem muito espaço, para distribuição de ar quente ou frio por toda a zona de passageiros.
- A viatura deverá ser equipada com sensores de marcha-atrás (sensores de proximidade) para facilitar o estacionamento.
- O acesso à zona de passageiros será conseguido através de:
  - uma plataforma elevatória e duas meias portas traseiras de abertura e fixação a 270°, dotadas de janelas de vidros fixos;
  - uma porta lateral de abertura deslizante, com sistema antientalamento, comandada à distância e eletricamente pelo condutor, tendo esta que dispor de comandos de abertura de emergência pelo exterior e pelo interior, fora do alcance dos passageiros em posição sentada;
  - um degrau retráctil sob o pavimento, ou seja, um estribo rotativo de acionamento elétrico comandado pelo condutor, para facilitar a entrada pela porta lateral de abertura deslizante.

- No painel de instrumentos do condutor devem ser colocados avisadores sonoros de abertura da porta lateral de acesso à zona de passageiros e de acionamento da plataforma elevatória traseira.
- Na zona dos lugares da frente, a lotação deve ser de 2 lugares, e a colocação dos bancos do condutor e do acompanhante deverá permitir o acesso deste último a toda a zona dos passageiros.
- A porta da frente do lado direito, ou seja do acompanhante, só pode ser aberta pelo exterior ou através de um sistema comandado pelo condutor e situado fora do alcance dos passageiros.
- Os bancos do condutor, acompanhante e passageiros deverão estar dotados de encosto de cabeça e de cintos de segurança individuais homologados, com enrolador automático e 3 pontos de fixação.
- A zona de passageiros deverá ser dotada de 7 bancos, todos orientados no sentido de marcha da viatura, rotativos em 90° e com assentos rebatíveis, com corredor central para facilitar acessos. Deverão ser possíveis combinações de lugares, isto é, combinar quantidades máximas de cadeiras de rodas com quantidades máximas de bancos.
- A viatura deverá estar equipada com dispositivos, do tipo cintas, para fixação de cadeiras de rodas ao pavimento, que possibilitem grandes versatilidade e segurança nessas ligações e sejam compatíveis com todos os tipos de cadeiras de rodas. Deverão também ser fornecidos cintos de segurança para fixar os utentes às cadeiras de rodas que os transportem.
- Nenhum dos bancos poderá apresentar saliências contundentes ou que, de algum modo, possam prejudicar os movimentos e a segurança dos passageiros, tendo os apoios dos braços que ser rebatíveis e almofadados. Os bancos deverão ainda ser revestidos por um material resistente e permitir a sua fácil lavagem.
- Assim como nos bancos, todo o habitáculo deve ser revestido por material lavável e resistente.
- O pavimento na zona dos passageiros deverá possuir revestimento antiderrapante, e calhas encastradas que permitam a colocação de dispositivos de fixação das cadeiras de rodas e permitam diversas soluções de arrumação dentro da viatura. Nos topos, estas calhas devem terminar em rampa para uma melhor e fácil limpeza.
- Na zona de passageiros, deverão ser colocados 2 apoios de mão verticais junto à porta lateral e 2 corrimões horizontais na posição longitudinal do veículo, fixados ao teto, de

modo a facilitar a deslocação dentro da mesma, no momento de entrada ou saída de passageiros.

- Todos os vidros das janelas não podem abrir mais do que um terço da sua abertura total, com exceção da janela do lugar do condutor, devendo ainda os da zona dos passageiros serem fumados de cor escura.
- A viatura deverá estar dotada de iluminação interior bem distribuída, bem como de farolins intermitentes no seu exterior sobre os cantos superiores da sua dianteira e traseira, funcionando simultaneamente como farolins delimitadores.
- Os acabamentos devem estar isentos de arestas e dotados de materiais absorventes de impactos.
- A viatura deverá ainda estar dotada de:
  - Caixa de primeiros socorros, localizada e sinalizada em local adequado e bem visível, e com as características exigidas pela Lei n.º 13/2006, de transporte coletivo de crianças.
  - Dois extintores de incêndios de 6kg, de pó químico, com as características exigidas pela Lei n.º 13/2006, de transporte coletivo de crianças.
  - Dísticos identificadores de transporte coletivo de crianças, conforme exigido pelo Despacho n.º 24 233/2006, emitido em 28 de novembro, no DR (2ª Série).
  - Identificação, em português e em chapa rebitada, de todos os botões e manípulos de comando da porta e do degrau de acionamento elétrico, ambos do lado direito da viatura, e do acionamento da plataforma elevatória na sua traseira.

### **2.8.3. Especificações de assistência técnica exigidas**

Nas especificações de assistência técnica exigidas, enunciam-se as seguintes:

- Com a entrega da viatura, devem ser fornecidos, sem custos, 2 exemplares de cada, dos manuais, microfichas ou CD's de peças, instruções sobre a operação e manutenção, bem como, da reparação completa da viatura.
- Deve ser efetuada, gratuitamente, uma formação sobre a viatura completa nas áreas de operação, imediatamente a seguir à entrega.
- Com a entrega da viatura deve ser fornecido o programa de manutenção preventiva a que a viatura deverá estar sujeita, bem como um documento com as marcas e especificações de todos os lubrificantes aplicados à viatura.

- Será garantida a assistência técnica de toda a viatura, incluindo todos os equipamentos instalados, pelo período de 10 anos, garantindo também o fornecimento de peças de consumo corrente até 24 horas, sendo as restantes peças até 30 dias.

## **2.9. Verificação do cumprimento das especificações técnicas exigidas ao construtor da viatura (Mercedes-Benz)**

De modo a verificar a veracidade do cumprimento de todas as especificações exigidas à Mercedes-Benz, para o fornecimento da viatura requerida, e também com o objetivo de se proceder à fase seguinte, foi proposta uma visita de acompanhamento.

A viatura considerada pela construtora como capaz de responder ao especificado pela C.M.L., é da marca Mercedes-Benz com o respetivo modelo “Sprinter”, a qual depois de algumas alterações ao chassis base foi dada como pronta e apta para prosseguir para a fase seguinte, a realizar na empresa Auto Ribeiro Lda.. Verificados estes factos, a viatura foi automaticamente encaminhada para a empresa Auto Ribeiro Lda. onde se encontrava no dia da visita.

Nesta visita foram verificados todos os pontos referidos nas especificações técnicas do chassis da viatura exigidos ao construtor, com o intuito de se dar aprovação para o início da transformação e adaptação da carroçaria. Foram também revistas todas as exigências impostas ao transformador, verificando-se no local se seria necessário proceder a alguma alteração, chegando-se ao acordo entre ambas as partes (C.M.L., Auto Ribeiro e Mercedes-Benz).

Constatou-se que a especificação técnica exigida ao transformador, passo a citar, *“uma porta lateral de abertura deslizante, com sistema antientalamento, comandada à distância e eletricamente pelo condutor, tendo esta que dispor de comandos de abertura de emergência pelo exterior e pelo interior, fora do alcance dos passageiros em posição sentada”*, já viria equipada pela empresa construtora Mercedes-Benz, embora não cumprisse na totalidade com o especificado, no ponto em que, o botão de emergência no interior da viatura ficaria ao alcance de alguns dos passageiros em posição sentada. Segundo as características exigidas pelo artigo 12.º da Lei n.º 13/2006, de transporte coletivo de crianças, o comando de abertura da porta lateral terá que se encontrar fora do alcance dos passageiros, tendo assim esta inconformidade de ser corrigida (Diário da República N.º 75, 2006). Esta informação foi então anotada pela empresa transformadora, Auto Ribeiro Lda., para se proceder à sua posterior correção.

Outra das alterações a requerer à empresa Auto Ribeiro, na visita efetuada, seria a colocação de um dístico adicional (em autocolante) na traseira da viatura com a designação “EDUCAÇÃO”, a pedido do Departamento de Educação e Juventude da Câmara Municipal de Lisboa.

Como se verifica na figura 2.11 a) e b), obtidas nas instalações da Auto Ribeiro com a sua gentil autorização, a viatura no dia da visita ainda não possuía nenhuma alteração ou transformação efetuada, estando aguardar aprovação por parte da C.M.L. para se iniciar a próxima fase. Constatou-se ainda que os vidros da viatura já se encontravam devidamente isolados com cartão, para não ocorrer a sua danificação assim que o processo de transformação fosse iniciado.



a)



b)

Figura 2.11 – Viatura nas instalações da Auto Ribeiro Lda. pronta para sofrer transformação. a) Vista exterior; b) Vista interior (Fotografia obtida em: Instalações da Auto Ribeiro Lda.).



# CAPÍTULO 3

## PROPOSTA DE SISTEMA DE ELEVAÇÃO

### 3.1. Introdução

Neste capítulo é apresentada uma proposta de instalação de uma plataforma elevatória para cadeiras de rodas. A proposta que aqui se apresenta irá servir de base para o desenvolvimento e estudo da estrutura do piso interior da viatura a modificar.

Para desenvolver uma proposta credível é necessário, em primeiro lugar, estudar as seguintes características de projeto: a capacidade de carga, o local da instalação, o modo de instalação, o tipo de plataforma elevatória, entre outras.

É então necessário proceder à construção de uma plataforma que cumpra com os requisitos impostos, de modo a alcançar todas as necessidades de utilização, sendo essa parte da responsabilidade da empresa Auto Ribeiro Lda..

Será ainda apresentada uma proposta de dimensionamento de todo um circuito óleo-hidráulico referente à plataforma elevatória traseira, de modo a obter um sistema que responda a todas as necessidades impostas.

A instalação desta plataforma trará outras conseqüentes necessidades ao projeto como se verá mais à frente no trabalho.

### 3.2. Análise de Necessidades

#### 3.2.1. Objetivos do sistema

O sistema referido, plataforma elevatória para cadeiras de rodas, tem como objetivo a deslocação de pessoas com incapacidades motoras, transportados em cadeiras de rodas, do exterior para o interior da viatura, e vice-versa, em total segurança. Depois de colocada a

cadeira de rodas sobre a plataforma, que se deverá deslocar até ao solo para facilitar a entrada, esta é acionada numa botoneira pelo condutor, elevando-se e permitindo o acesso ao interior da viatura.

### **3.2.2. Requisitos do sistema**

Partindo dos objetivos do sistema a implementar no projeto, referidos anteriormente, devem ser definidos os requisitos que lhe serão impostos, de modo a procurar soluções fiáveis e adequadas.

Para a construção deste sistema foram impostos os seguintes requisitos, ou características:

- Uma plataforma elevatória hidráulica, de acionamento elétrico;
- Capacidade útil de carga de 300 kg e 1,20 metros de comprimento, para facilitar a entrada e saída de diferentes tipos de cadeiras de rodas, sendo que o embarque ou desembarque deve ser feito unitariamente;
- Possuir na sua estrutura, um apoio de mão ao nível do peito da pessoa sentada na cadeira de rodas, permitindo que esta se apoie durante a sua elevação;
- Quando em repouso, isto é, quando não está em utilização, ficar completamente arrumada, não retirando espaço ao interior do habitáculo;
- A sua arrumação deve ser tal, que não ficará visível, não retirando visibilidade ao condutor nem ocupantes da viatura;
- A sua instalação deverá ser feita no interior da viatura, não ficando exposta ao meio exterior, quando não está em funcionamento;
- O seu acionamento, por botoneira, ser simples e eficaz, sendo reduzida a sua dificuldade de manuseamento;
- O seu piso ser antiderrapante, oferecendo uma boa aderência aos pneus das cadeiras de rodas;
- A plataforma deslocar-se-á do solo até ao nível do piso interior da viatura, e vice-versa, permitindo um embarque e desembarque suave para a mesma;

### **3.3. Construção da plataforma elevatória**

Um dos requisitos impostos foi o da plataforma ficar totalmente arrumada, não ficando visível nem retirando espaço ao habitáculo da viatura, permitindo assim uma maior largueza aos



utilizadores. Surgida esta necessidade optou-se pela construção de uma plataforma do tipo “gaveta”, que deslizasse para o interior e exterior da carroçaria, ficando assim ocultada e perfeitamente arrumada.

Foi tido ainda em consideração que a plataforma tinha de ser instalada na parte interior da viatura, porque se fosse no exterior iria diminuir a altura útil do chassis da viatura em relação ao solo, ficando mais suscetível à ocorrência de embates. Sendo assim ficará mais resguardada, garantindo uma maior conservação e menor exposição a danos causados por pequenas colisões. Outro dos fatores que se teve em conta para se optar pela instalação interior, deveu-se ao facto de se tornar mais fácil rebocar a viatura, uma vez que esta é muito longa e o seu transporte terá que ser feito somente com as duas rodas frontais sobre a aranha do veículo rebocador. Foram tidos em atenção os tipos de reboques existentes nos serviços da C.M.L., tentando adaptar-se a nova viatura ao já existente, para que futuramente, qualquer intervenção de reboque que tenha que ser feita a esta viatura possa ser efetuada internamente, não sendo necessário solicitar serviços externos.

De modo a cumprir com todos os requisitos especificados, a plataforma a instalar foi construída pela própria empresa transformadora, tendo sido identificadas as zonas de fixação ao chassis da viatura, bem como todas as suas dimensões, a fim de tornar possível a sua montagem. De seguida enunciam-se as características técnicas da estrutura elevatória construída:

Tabela 3.1 – Características técnicas da estrutura elevatória construída

|                                    |                    |          |
|------------------------------------|--------------------|----------|
| Comprimento útil de carga          | 1200 mm            |          |
| Largura útil de carga              | 800 mm             |          |
| Comprimento total da estrutura     | 1602 mm            |          |
| Largura total da estrutura         | 1066 mm            |          |
| Capacidade de carga                | 300 kg             |          |
| Altura de elevação máxima          | 735 mm             |          |
| Lotação de transporte              | 1 cadeira de rodas |          |
| Sistema de apoio ao nível do peito | Abertura manual    |          |
| Material de construção             | Plataforma         | Alumínio |
|                                    | Estrutura mecânica | Aço      |
| Peso total                         | 180 kg             |          |
| Sistema de elevação                | Eletro-Hidráulico  |          |

### 3.4. Instalação

#### 3.4.1. Requisitos de instalação

Visto que era requerido, pelo caderno de encargos desenvolvido e apresentado tanto à empresa construtora como à empresa transformadora, que a viatura a modificar deverá, e passo a citar “*estar dotada, na sua traseira, de uma plataforma elevatória...*”, teve de se criar

um processo de instalação que fosse ao encontro de tal facto e que estivesse em conformidade com os requisitos impostos ao sistema.

A plataforma deverá então ser instalada convenientemente na parte traseira do veículo, permitindo o acesso a cadeiras de rodas pelas suas portas traseiras. A sua fixação terá que ser feita diretamente ao chassis da viatura, isto é, ao seu próprio piso interior, oferecendo as condições de segurança necessárias. De seguida apresenta-se um modelo simplificado, de como será a instalação do sistema de elevação, na parte traseira da carrinha.

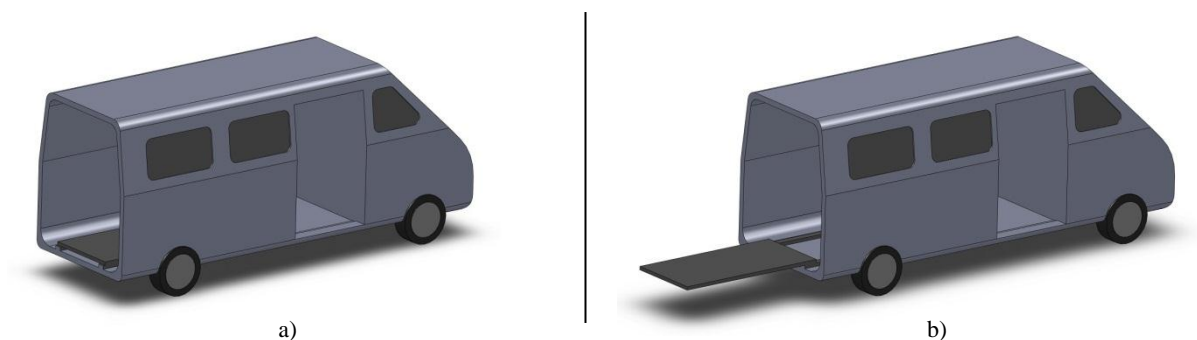


Figura 3.1 – Simplificação da instalação do sistema de elevação na traseira da viatura. a) Plataforma recolhida; b) Plataforma aberta.

### **3.4.2. Novas necessidades encontradas**

Com o intuito de se instalar a plataforma elevatória do tipo “gaveta” surgiram novas necessidades, isto é, teria de ser criado um piso sobrelevado no interior da viatura, como se explica de seguida.

A instalação da plataforma construída, para que funcione corretamente e permita ser arrumada adequadamente, implicará ter de se realizar a sobrelevação do piso da viatura, de modo a criar um piso “falso” capaz de suportar toda a carga e esforços nele aplicado. Para tal teve que ser projetada e desenvolvida uma estrutura metálica capaz de apresentar uma solução para o facto encontrado, devendo esta que ser estudada e analisada, de modo a oferecer total segurança e fiabilidade aos passageiros. O projeto e estudos referentes à esta estrutura são apresentados no capítulo seguinte.

### **3.5. Dimensionamento do circuito óleo-hidráulico para a plataforma elevatória traseira**

Neste ponto é apresentada uma proposta de dimensionamento de todo um circuito óleo-hidráulico referente à plataforma elevatória traseira, de modo a obter um sistema que responda a todas as necessidades impostas.

Todo o circuito foi devidamente adaptado à estrutura da plataforma construída na empresa Auto Ribeiro Lda., sendo totalmente compatível com esta, permitindo assim ser aplicável na realidade. Pelo contacto direto com a plataforma a instalar, foi possível retirar todas as dimensões e características consideradas relevantes, o que permitiu adaptar todo o circuito óleo-hidráulico às necessidades encontradas.

Foi feita ainda a construção do modelo num programa informático de modelação 3D, tendo-se utilizado o SolidWorks<sup>®</sup>, para melhor se visualizar como irá funcionar a plataforma, permitindo tomar algumas considerações e retirar alguns valores de ângulos.

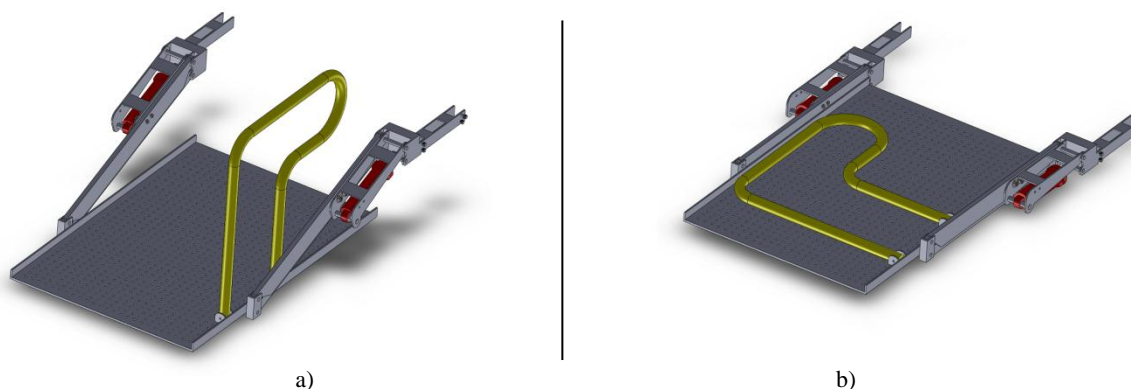


Figura 3.2 – Representação do modelo construído em SolidWorks<sup>®</sup>. a) Plataforma apta para entrada de cadeira de rodas, com apoio de braço aberto; b) Plataforma ao nível de abertura, com apoio de braço fechado.

O dimensionamento deste circuito óleo-hidráulico tem como principal objetivo fornecer a força necessária que permita a elevação e descida da plataforma elevatória a instalar na traseira da viatura. Terá também o objetivo de realizar ambas as operações a uma velocidade controlada, oferecendo a máxima segurança e comodidade aos ocupantes a transportar.

É de notar que todos os componentes aqui selecionados são equivalentes aos equipados na viatura, não se especificando marcas e modelos dos próprios, por questões de confidencialidade da própria empresa, Auto Ribeiro Lda..

### 3.5.1. Determinação da carga efetiva de operação

Para efetuar o dimensionamento do circuito óleo-hidráulico, foi necessário determinar a carga máxima a que cada cilindro hidráulico ficará sujeita, isto é, a pior situação de carregamento encontrada em operação.

Das exigências feitas no caderno de encargos sabe-se que a plataforma elevatória teria que possuir capacidade de carga para 300kg, de modo a permitir o transporte de cadeiras de rodas elétricas, ou seja, de maior massa. A adicionar a este valor, terá que ser somado o valor da

massa da própria estrutura, cerca de 180kg, perfazendo um total de 480kg. Este valor será a massa que teremos no eixo vertical, ou seja, de cima para baixo, não sendo esta a carga transmitida efetivamente aos dois cilindros hidráulicos a instalar.

De modo a simplificar a resolução do problema, realizar-se-ão os cálculos considerando apenas um cilindro hidráulico, e sendo assim a força vertical a considerar também será metade do valor total, ou seja, 240kg. A variável  $F_{peso}$  corresponde então ao peso na vertical, obtendo-se dessa forma o seguinte valor.

$$F_{peso} = massa \times 9,8 = 240 \times 9,8 = 2352 N \quad (3.1)$$

Para efeitos de estudo, considerar-se-ão ainda quatro casos diferentes, permitindo dessa forma determinar qual a pior situação para o cilindro, verificando-se por cálculos o caso onde se obtém um maior valor para a força aplicada ao cilindro hidráulico,  $F_{cil}$ . São também calculados os vários valores tomados por  $F_s$ , sendo esta a força atuante na estrutura superior de suporte do cilindro.

Apresentam-se de seguida cada um dos casos referidos, explicando-se brevemente a situação real correspondente a cada um deles. É também apresentado, para cada caso, um diagrama da resultante das forças no ponto A, servindo de auxílio na escrita das equações nos eixos x e y.

**Caso I:** Plataforma ao nível de entrada e saída da viatura, onde se verifica a horizontalidade do cilindro hidráulico. Esta situação ocorre no momento em que a plataforma atinge o nível ao qual se dá a sua abertura ou fecho.

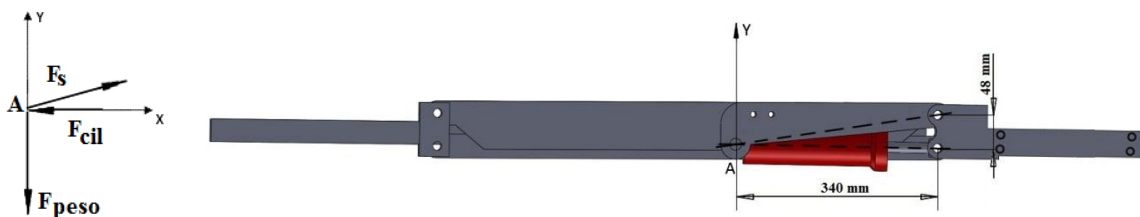


Figura 3.3 – Representação esquemática do caso I e do seu diagrama de resultante de forças.

- Determinação do ângulo entre o cilindro hidráulico e a sua estrutura superior de suporte:

$$\tan \alpha = \frac{48}{340} \langle \Rightarrow \rangle \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{48}{340} \right) \approx 8^\circ \quad (3.2)$$

**NOTA:** o valor deste ângulo será considerado constante para todos os casos de estudo, visto que a sua variação será mínima e também para simplificação de resultados.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_s \cos 8^\circ - F_{cil} = 0 \\ F_s \sin 8^\circ - F_{peso} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_{cil} \approx 16736 \text{ N} \\ F_s \approx 16900 \text{ N} \end{cases} \quad (3.3)$$

**Caso II:** Plataforma a um nível superior, onde se verifica a horizontalidade entre furações do suporte superior do cilindro hidráulico. Este ponto será atingido na subida ou descida da plataforma, quando se criar um ângulo de  $8^\circ$  entre o cilindro hidráulico e o plano horizontal.

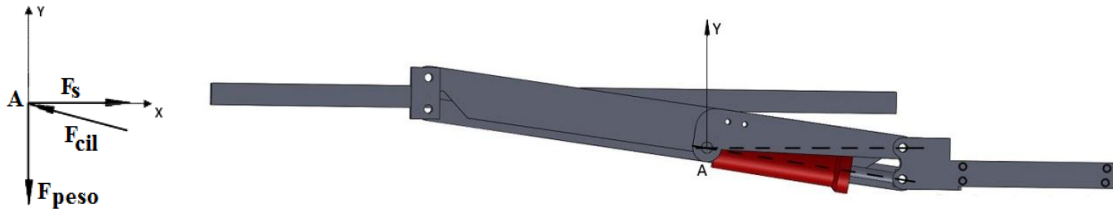


Figura 3.4 – Representação esquemática do caso II e do seu diagrama de resultante de forças.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_s - F_{cil} \cos 8^\circ = 0 \\ F_{cil} \sin 8^\circ - F_{peso} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_s \approx 16736 \text{ N} \\ F_{cil} \approx 16900 \text{ N} \end{cases} \quad (3.4)$$

**Caso III:** Plataforma ao nível superior máximo, para entrada e saída de passageiros para o piso interior da viatura. Atinge-se este ponto quando a plataforma está a uma altura de 73,5 cm do solo, e respetivamente, a cerca de 19,5 cm do nível de arrumação da mesma.

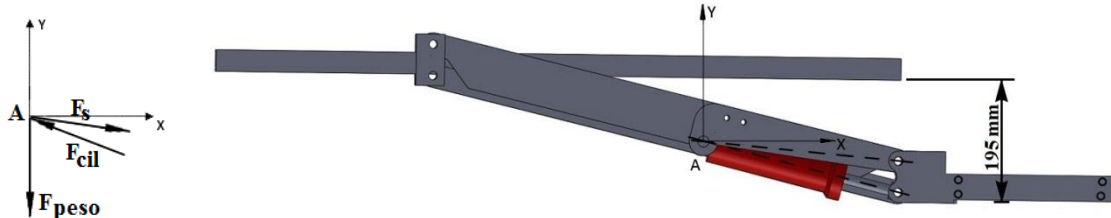


Figura 3.5 – Representação esquemática do caso III e do seu diagrama de resultante de forças.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_s \cos 6^\circ - F_{cil} \cos(6^\circ + 8^\circ) = 0 \\ -F_s \sin 6^\circ + F_{cil} \sin(6^\circ + 8^\circ) - F_{peso} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_{cil} \approx 16807 \text{ N} \\ F_s \approx 16398 \text{ N} \end{cases} \quad (3.5)$$

**Caso IV:** Plataforma ao nível inferior máximo, para entrada e saída de passageiros do solo. Este ponto é atingido quando a plataforma atinge o solo, estando por isso a uma altura nula do mesmo, e respetivamente a uma distância de cerca de 54 cm do seu nível de arrumação.

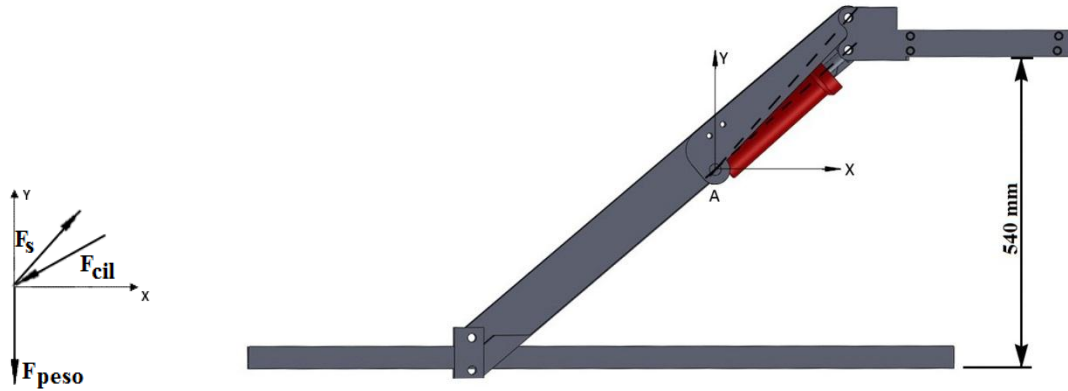


Figura 3.6 – Representação esquemática do caso IV e do seu diagrama de resultante de forças.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_s \cos(42^\circ + 8^\circ) - F_{cil} \cos 42^\circ = 0 \\ F_s \sin(42^\circ + 8^\circ) - F_{cil} \sin 42^\circ - F_{peso} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_{cil} \approx 9396 \text{ N} \\ F_s \approx 10863 \text{ N} \end{cases} \quad (3.6)$$

Da observação dos anteriores casos, constata-se que o *caso II* é onde se obtém um valor para  $F_{cil}$  mais elevado, concluindo-se que o cilindro hidráulico terá que ter no mínimo tal capacidade de carga.

De modo a dimensionar todo um circuito óleo-hidráulico, teve-se em consideração um coeficiente de segurança indicado para este tipo de estruturas elevatórias, tomando o valor de dois (The Hong Kong Special Administrative Region, 2002). Sendo assim, todo o circuito será dimensionado para o dobro da carga aplicada efetivamente, determinando-se o seu valor máximo através da seguinte equação:

$$F_{cil \text{ max.}} = n_{seg} \cdot F_{cil \text{ caso II}} = 2 \times 16900 = 33800 \text{ N} \quad (3.7)$$

Calculado o valor da carga máxima para a qual o cilindro terá que ter capacidade, é então possível realizar o seu dimensionamento bem como dos componentes do circuito óleo-hidráulico.

### 3.5.2. Considerações iniciais

Por limitações de espaço para instalação, optou-se inicialmente, por se seleccionar o diâmetro exterior do corpo do cilindro e conseqüentemente o seu diâmetro interior. Partindo-se desse ponto, e sabendo-se o valor da força máxima a vencer pelo cilindro, realizaram-se cálculos para determinação das suas condições de funcionamento e para obter o seu dimensionamento de construção.

A seleção do tipo de cilindro hidráulico foi outra das considerações tomadas, concluindo-se que seria apenas necessário um cilindro de simples efeito, sendo o seu avanço provocado pela entrada de óleo e o seu recuo causado pela própria massa da plataforma, ou pelo somatório de massas da plataforma, da cadeira de rodas e do seu ocupante.

Foi também possível, posteriormente, selecionar um motor elétrico, uma bomba hidráulica e ainda as tubagens a instalar, através da pressão de funcionamento e do caudal de óleo necessário.

Tabela 3.2 – Características selecionadas inicialmente para o cilindro hidráulico

| Cilindro | Ø Interior do Cilindro ( $d_{int}$ ) [mm] | Ø Exterior do Cilindro ( $d_{ext}$ ) [mm] | Área da secção de avanço ( $S_a$ ) [mm <sup>2</sup> ] |
|----------|---|---|---|
|          | 55  | 65  | 2375,8  |

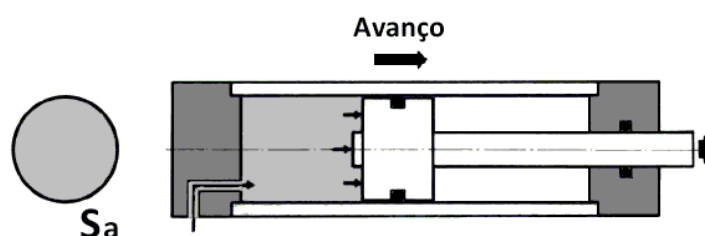


Figura 3.7 – Representação esquemática de um cilindro hidráulico de simples efeito e da sua área da secção de avanço,  $S_a$ .

De seguida apresenta-se uma tabela com as características dos materiais a utilizar na construção do cilindro hidráulico, tendo estes valores sido usados nos cálculos de dimensionamento do mesmo.

Tabela 3.3 – Propriedades dos materiais a utilizar na construção do cilindro hidráulico (ver ponto II do ANEXO VIII)

| Material              | Utilizado em:                     | Tensão de Cedência [Mpa] | Tensão de Rutura [Mpa] | Módulo de Elasticidade [GPa] |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|
| St 52.0 DIN 1629      | Corpo                             | 345                      | 500 - 650              | 210                          |
| 1.4057 (X22 Cr Ni 17) | Haste                             | 600                      | 800 - 950              |                              |
| St 52.3 DIN 17100     | Tampas, Embolo, Soldaduras, Pinos | 315                      | 480 - 630              |                              |

### 3.5.3. Pressão de funcionamento

Sabe-se que a carga num cilindro se descreve pela fórmula seguinte, entrando esta com um fator de rendimento mecânico,  $\eta_{mec} = 0,95$ , usualmente considerado para cilindros de simples efeito. É assim possível determinar a pressão interior a que o cilindro hidráulico fica sujeito,  $P$ , quando em funcionamento de elevação ou descida da plataforma carregada.

$$F_{cil\ max.} = P \cdot S_a \cdot \eta_{mec} \langle \Rightarrow \rangle \quad (3.8)$$

$$\langle \Rightarrow \rangle P = \frac{F_{cil\ max.}}{S_a \cdot \eta_{mec}} = \frac{33800}{\pi \times \left(\frac{0,055}{2}\right)^2 \times 0,95} \approx \mathbf{14,98\ MPa} \approx \mathbf{149,8\ bar}$$

### 3.5.4. Dimensionamento da haste do cilindro

Para o dimensionamento da haste do cilindro foi tida em conta a encurvadura, assemelhando-se o presente caso de estudo ao 2º caso de Euler, onde ambos os extremos do cilindro apresentam uma rótula. Sendo assim, quando sujeito a compressão axial, a sua encurvadura apresenta o aspeto enunciado na seguinte figura.

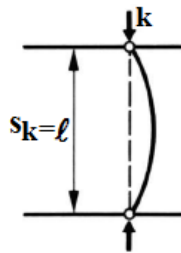


Figura 3.8 – Representação esquemática da encurvadura, para o 2º caso de Euler, Adaptado de: (Götz, 1991).

Tomando o valor de 4,5 para o coeficiente de segurança à encurvadura,  $S$ , visto ser o valor médio utilizado em óleo-hidráulica, é possível determinar a carga axial,  $k$ , que provoca tal flexão transversal, sabendo a força real aplicada,  $F_{peso}$ .

$$S = \frac{k}{F_{peso}} \langle \Rightarrow \rangle k = S \cdot F_{peso} = 4,5 \times 33800 = \mathbf{152100\ N} \quad (3.9)$$

Utilizando agora a equação da carga axial,  $k$ , necessária para provocar a encurvadura do cilindro, foi possível determinar o valor do momento de inércia da área circular da haste,  $J$ .

$$k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{s_k^2} \langle \Rightarrow \rangle J = \frac{k \cdot s_k^2}{\pi^2 \cdot E} = \frac{152100 \times 350^2}{\pi^2 \times 2,1 \times 10^5} = \mathbf{8989,7\ mm^4} \quad (3.10)$$

$E$  – Modulo de Elasticidade  $2,1 \times 10^5$  em  $N/mm^2$

$J$  – Momento de inércia da área circular da haste em  $mm^4$

$s_k$  – Comprimento livre (2º caso de Euler's, extremidades olhal/olhal,  $s_k = l$ )

Por sua vez, determinado o momento de inércia da secção da haste,  $J$ , calculou-se o diâmetro mínimo da mesma,  $d_{h\ min}$ , tomando este o seguinte valor.

$$J = \frac{(d_{h\ min})^4 \cdot \pi}{64} \langle \Rightarrow \rangle d_{h\ min} = \sqrt[4]{\frac{J \times 64}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{8989,7 \times 64}{\pi}} = \mathbf{20,68\ mm} \quad (3.11)$$

Pela análise de resultados, seleccionou-se uma haste com um diâmetro standard de valor acima ao determinado, tomando o valor de 22 mm, garantindo assim o valor de 4,5 para o coeficiente de segurança à encurvadura (ver ponto II do ANEXO VIII).



### 3.5.5. Espessura mínima das paredes do cilindro

Segundo a norma ASME VIII Div 1 (UG 27), a espessura mínima para a parede do corpo cilíndrico é dada pela equação 3.12, a qual tem em conta a pressão na área circunferencial do corpo. É assim possível realizar a verificação das dimensões selecionadas inicialmente para o cilindro, onde se tinha o valor de 5 mm para a espessura da parede.

$$e_{min} = \frac{p \cdot \frac{d_{int}}{2}}{0,25 \cdot \sigma_{rup} \cdot E_{soldadura} - 0,6 \cdot P_{m\acute{a}x}} = \frac{14,98 \times \frac{55}{2}}{0,25 \times 500 \times 1 - 0,6 \times 14,98} \approx 3,55 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Como se constata, a espessura inicial cumpre com o especificado pela norma ASME, estando o cilindro bem dimensionado quanto à sua espessura.

Visto termos a espessura da parede de 5 mm na realidade e não os 3,55 mm considerados como espessura mínima, também a pressão máxima admissível pelo corpo cilíndrico será superior ( $P_{m\acute{a}x adm}$ ), obtendo-se o seu valor pela seguinte equação:

$$P_{m\acute{a}x adm} = \frac{0,25 \cdot \sigma_{rup} \cdot E_{soldadura} \cdot e_{real}}{\frac{d_{int}}{2} + 0,6 \cdot e_{real}} = \frac{0,25 \cdot 500 \cdot 1,5}{\frac{55}{2} + 0,6 \cdot 5} \approx 20,49 \text{ MPa} \approx 204,9 \text{ bar} \quad (3.13)$$

$E_{soldadura}$  – Eficiência associada à soldadura

### 3.5.6. Espessura mínima do fundo do cilindro

Segundo a norma ASME VIII Div 1 (UG 34), a espessura mínima para o fundo do cilindro é dada pela equação 3.14.

$$e_{min} = d_{int} \cdot \sqrt{\frac{C_{sol} \cdot P}{0,25 \cdot \sigma_{rup} \cdot E_{soldadura}}} = 55 \cdot \sqrt{\frac{0,33 \times 14,98}{0,25 \times 480 \times 1}} \approx 11,16 \text{ mm} \quad (3.14)$$

$E_{soldadura}$  – Eficiência associada à soldadura

$C_{sol}$  – Fator dependente do tipo de soldadura ( $C_{sol} = 0,33$  neste caso)

Pelo cálculo anterior obtém-se o valor para a espessura mínima do fundo do cilindro ( $e_{min}$ ), isto é, terá que ter no mínimo 11,16 mm para resistir à pressão interior aplicada. Com base neste valor selecionou-se uma maior espessura, tomando esta o valor de 14 mm.

### 3.5.7. Verificação da soldadura do fundo do cilindro

Neste caso, a soldadura do fundo do cilindro é dada pelo cordão mínimo como sendo equivalente à parede do tubo, ou seja, com a espessura de 5 mm. Sendo assim, esta espessura

em redor de todo o cilindro corresponderá à área da garganta da soldadura, tendo esta que apresentar capacidade de resistir às forças de tração aplicadas.

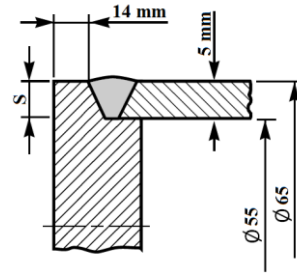


Figura 3.9 – Representação esquemática da soldadura do fundo do cilindro.

$$F_{sol} = A_{sol} \cdot P = (d_{ext}^2 - d_{int}^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot P = (65^2 - 55^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 14,98 = 14118 \text{ N} \quad (3.15)$$

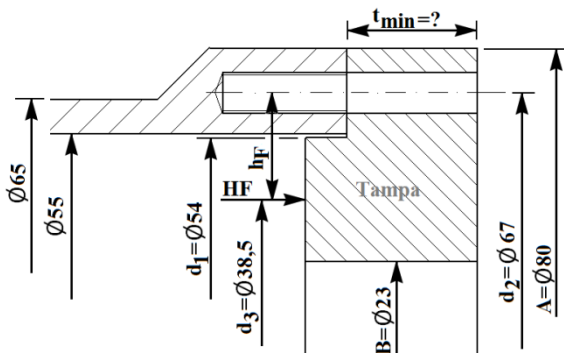
$$\sigma_{tração} = \frac{F_{sol}}{A_{sol}} = \frac{14118}{(65^2 - 55^2) \cdot \frac{\pi}{4}} = 14,98 \text{ MPa} \quad (3.16)$$

Comparando o valor obtido para a tensão de tração aplicada na soldadura,  $\sigma_{tração}$ , com o valor da tensão de cedência ( $\sigma_{ced} = 315 \text{ MPa}$ ) do material da soldadura, St 52.3 DIN 17100, denota-se que esta cumpre com o exigido, alcançando uma diferença significativa entre os valores o que proporciona uma elevada segurança.

### 3.5.8. Espessura mínima da tampa do cilindro

A tampa do cilindro será instalada através de parafusos, possibilitando a abertura do mesmo caso seja necessário proceder à sua manutenção. Deste modo, foi necessário calcular a espessura mínima da tampa, capaz de oferecer resistência à pressão interior criada no momento em que o cilindro se encontra completamente estendido, atingindo o êmbolo o seu final de curso, transmitindo-lhe a força resultante da pressão a que está sujeito. A tampa terá então a função de delimitar o final de curso do êmbolo, bem como servir de guia para a haste do cilindro.

Para os seguintes cálculos foi tomada como referência a norma ASME VIII Div 1.



$$d_3 = \frac{d_1 - B}{2} + B = 38,5 \text{ mm} \quad (3.17)$$

$$h_F = \frac{d_2 - d_3}{2} = 14,25 \text{ mm} \quad (3.18)$$

Figura 3.10 – Representação esquemática, em corte, da tampa e de parte do corpo do cilindro hidráulico.

Por consulta da norma ASME VIII Div 1, obteve-se a seguinte equação que permitirá determinar a espessura mínima que a tampa do cilindro hidráulico deverá ter.

$$t_{min} = \sqrt{\frac{Y \cdot M_0}{0,25 \cdot \sigma_{rup} \cdot B}} \quad (3.19)$$

$Y$  – Fator dependente do fator  $K$ ;

$M_0$  – Momento atuante na tampa do cilindro nas condições de funcionamento;

$B$  – Diâmetro interior da furação da tampa;

Tida esta equação, procedeu-se à realização de todos os cálculos intermédios, de forma a obter os valores desconhecidos ( $Y$ ;  $M_0$ ;  $B$ ).

- Determinação da força aplicada à tampa, resultante da pressão no êmbolo

$$F_{tampa} = S_a \cdot P = \phi_{emb}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot P = 55^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 14,98 \approx 35589,9 \text{ N} \quad (3.20)$$

- Determinação do momento atuante na tampa

$$M_0 = F_{tampa} \cdot h_F = 35589,9 \times 14,25 \approx 507156,1 \text{ Nmm} \quad (3.21)$$

- Determinação do fator  $K$  (relação entre o diâmetro externo e interno da tampa)

$$K = \frac{A}{B} = \frac{80}{23} = 3,48 \quad (3.22)$$

- Determinação do fator  $Y$  (ASME VIII Div 1, Anexo 2)

$$Y = \frac{1}{K-1} \left[ 0,66845 + 5,71690 \cdot \frac{K^2 \cdot \log_{10} K}{K^2 - 1} \right] \langle \Rightarrow \rangle \quad (3.23)$$

$$\langle \Rightarrow \rangle Y = \frac{1}{3,48-1} \left[ 0,66845 + 5,71690 \times \frac{3,48^2 \times \log_{10} 3,48}{3,48^2 - 1} \right] = 1,63$$

Conhecendo agora todos os valores anteriormente desconhecidos, é então possível determinar a espessura mínima da tampa do cilindro, por substituição destes na equação 3.19.

$$t_{min} = \sqrt{\frac{1,63 \times 507156,1}{0,25 \times 480 \times 23}} = 17,31 \text{ mm} \quad (3.24)$$

Pelo cálculo anterior obtém-se o valor para a espessura mínima da tampa do cilindro, isto é, terá que ter no mínimo 17,31 mm para resistir à pressão interior aplicada. Com base neste valor selecionou-se uma maior espessura, tomando esta o valor de 19 mm.

### 3.5.9. Verificação dos parafusos de fixação da tampa do cilindro

Nos procedimentos de cálculos de parafusos existem várias seguranças a verificar, dependentemente de cada situação ou caso a estudar. Estas seguranças devem ser verificadas a fim de dimensionar um parafuso que cumpra com o requerido.

Para este caso, os parafusos deverão ser verificados à sua própria resistência à tração, bem como à separação da ligação, garantindo assim que a tampa do cilindro hidráulico se mantenha fixa ao corpo. De modo a fazer a sua verificação, realizar-se-ão os cálculos que de seguida se apresentam (Budynas-Nisbett, 2006).

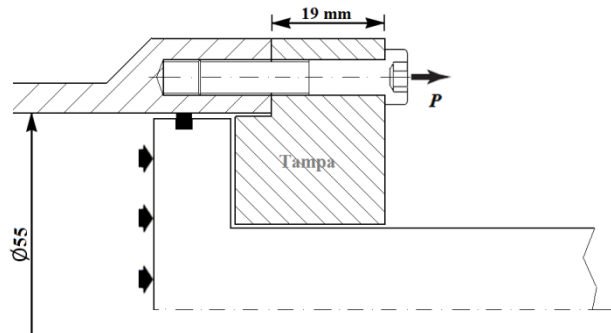


Figura 3.11 – Representação esquemática das forças exteriores aplicadas à separação da junta, **P**.

As seguintes equações representam a força de tração no parafuso,  $F_b$ , e a força de compressão na junta por  $F_m$ .

$$F_b = F_{irec} + CP_{sep} \quad (3.25)$$

$$F_m = F_{irec} - (1 - C)P_{sep} \quad (3.26)$$

$F_{irec}$  – Força de pré-tensão inicial dada à junta/parafuso;

$C$  – Constante adimensional de rigidez da junta;

$P_{sep}$  – Força exterior aplicada de separação da junta, num parafuso;

Quanto à verificação do parafuso à tração e à não separação da junta deverão ser respeitadas as equações 3.27 e 3.28 respetivamente:

- Verificação da resistência do parafuso:

$$P_p \geq F_b \quad (3.27)$$

- Verificação contra separação da junta:

$$F_m \geq 0 \quad (3.28)$$

$P_p$  – Carga de prova do parafuso;

Tidas as equações de verificação necessárias, procedeu-se à realização de todos os cálculos intermédios, de forma a obter os valores desconhecidos.

Para determinar,  $C$ , a constante elástica da junta, é necessários determinar a rigidez da espiga do parafuso,  $k_b$ , e a rigidez da junta,  $k_m$ , de modo a cumprir com a equação:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (3.29)$$

▪ **Determinação de  $k_b$ :**

Quando o parafuso é exposto a uma carga de tração, este tende a alongar, assemelhando-se este alongamento ao de duas molas em série, uma vez que a rigidez da parte roscada e da parte lisa da espiga são diferentes.

Para o cálculo de duas molas associadas em série temos:

$$k_b = \left( \frac{1}{k_t} + \frac{1}{k_d} \right)^{-1} \quad (3.30)$$

De seguida apresentam-se as equações para o cálculo da rigidez da parte roscada da espiga  $k_t$  e da rigidez da parte lisa da espiga  $k_d$ . A área de tração para parafusos M6x1 é dada por  $A_t = 20,1\text{mm}^2$ , tendo sido considerado o módulo de elasticidade de  $E = 210\text{GPa}$  (Budynas-Nisbett, 2006). Neste caso, os parafusos utilizados terão  $30\text{mm}$  de comprimento da espiga, sendo roscados em apenas  $18\text{mm}$ , possuindo área da parte roscada,  $A_t$ , e área da parte lisa,  $A_d$ .

$$k_t = \frac{A_t E}{l_t} = \frac{20,1 \times 10^{-6} \times 210 \times 10^9}{0,018} \approx 234,5 \times 10^6 \text{ N/m} \quad (3.31)$$

$$k_d = \frac{A_d E}{l_d} = \frac{\pi \times 0,003^2 \times 210 \times 10^9}{0,030 - 0,018} \approx 494,8 \times 10^6 \text{ N/m} \quad (3.32)$$

Por substituição na equação 3.30 da rigidez da parte roscada e da parte lisa do parafuso, é possível determinar a rigidez da espiga do parafuso:

$$k_b = \left( \frac{1}{k_t} + \frac{1}{k_d} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{234,5 \times 10^6} + \frac{1}{494,8 \times 10^6} \right)^{-1} \approx 159,1 \times 10^6 \text{ N/m} \quad (3.33)$$

▪ **Determinação de  $k_m$ :**

De modo a determinar a rigidez da junta, será necessário calcular a rigidez do membro que ficará à compressão provocada pelo aperto dos parafusos, sendo neste caso a tampa do cilindro.

A equação 3.34 permite obter o valor da rigidez do membro da junta, sendo que será utilizada de seguida.

$$k_{Material} = \frac{0,5774\pi Ed}{\ln\left(\frac{(1,155t+D-d)(D+d)}{(1,155t+D+d)(D-d)}\right)} \quad (3.34)$$

Tabela 3.4 – Características do membro da junta

| Material          | Utilizado em: | Módulo de Elasticidade, $E$<br>[GPa] | Espessura, $t$<br>[mm] | $d$<br>[mm] | $D$<br>[mm] |
|-------------------|---------------|--------------------------------------|------------------------|-------------|-------------|
| St 52.3 DIN 17100 | Tampa         | 210                                  | 19                     | 6           | 9           |

*Nota:*  $D = 1,5 \times d$  (Budynas-Nisbett, 2006)

Por substituição dos valores da tabela 3.4 na equação 3.34, obtém-se o valor para  $k_{St\ 52.3}$ , sendo que, como a junta é composta apenas por um membro, o valor de  $k_{St\ 52.3}$ , será igual a  $k_m$ .

$$k_m = k_{St\ 52.3} = \frac{0,5774 \times \pi \times 210 \times 10^9 \times 0,006}{\ln\left(\frac{(1,155 \times 0,019 + 0,009 - 0,006)(0,009 + 0,006)}{(1,155 \times 0,019 + 0,009 + 0,006)(0,009 - 0,006)}\right)} \approx 187,9 \times 10^7 \text{ N/m} \quad (3.35)$$

#### ▪ *Determinação de $C$*

Determinados os valores necessários para o cálculo da constante elástica da junta, e substituindo-se os mesmos na equação 3.29, obtém-se o seguinte valor para  $C$ :

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = \frac{159,1 \times 10^6}{159,1 \times 10^6 + 187,9 \times 10^7} \approx 0,078 \quad (3.36)$$

#### ▪ *Determinação de $P_P$ :*

Por consulta da tabela de classes de parafusos, foi tomado o valor de tensão de prova,  $S_p = 600 \text{ MPa}$ , para a classe CR 8.8, tendo também sido considerado o valor da área de tração do parafuso,  $A_t = 20,1 \text{ mm}^2$  (Budynas-Nisbett, 2006).

$$P_P = S_p A_t = 600 \times 10^6 \times 20,1 \times 10^{-6} = 12060 \text{ N} \quad (3.37)$$

#### ▪ *Determinação de $F_{irec}$ :*

Visto se tratar de uma ligação não amovível, onde foram utilizados parafusos novos e não reutilizados, o fator multiplicador da carga de prova que determina a pré-tensão recomendada para cada parafuso será de  $\chi = 0,9$ .

$$F_{irec} = \chi P_P = 0,9 \times 12060 = 10854 \text{ N} \quad (3.38)$$

▪ **Verificação da resistência dos parafusos**

Para determinar qual a carga aplicada em cada um dos parafusos da tampa, procedeu-se à divisão do valor da força aplicado na tampa,  $F_{tampa}$ , (proveniente da pressão do óleo ao avanço, no momento em que o êmbolo chega ao final do curso, embatendo na tampa do cilindro) pelo número de parafusos,  $NP$ .

$$P_{sep} = \frac{F_{tampa}}{NP} = \frac{35589,9}{6} \approx 5931,7 \text{ N} \quad (3.39)$$

Por substituição da equação 3.25 na equação 3.27, obtém-se a seguinte equação de verificação aos parafusos:

$$P_P \geq F_{irec} + CP_{sep} \quad (3.40)$$

Onde, considerando a existência de um coeficiente de segurança resulta:

$$P_P = F_{irec} + Cn_b P_{sep} \langle \Rightarrow \rangle \quad (3.41)$$

$$\langle \Rightarrow \rangle n_b = \frac{P_P - F_{irec}}{CP_{sep}} = \frac{12060 - 10854}{0,078 \times 5931,7} \approx 2,61$$

▪ **Verificação contra separação da junta**

Verificada a resistência dos parafusos à tração fica em falta a verificação destes contra a separação da junta, tendo-se realizado os cálculos necessários como se apresentam de seguida. Por substituição da equação 3.26 na equação 3.28, obtém-se a seguinte equação de verificação aos parafusos:

$$F_{irec} - (1 - C)P_{sep} \geq 0 \quad (3.42)$$

Onde, considerando a existência de um coeficiente de segurança resulta:

$$F_{irec} - (1 - C)P_{sep} \cdot n_{sep} = 0 \langle \Rightarrow \rangle \quad (3.43)$$

$$\langle \Rightarrow \rangle n_{sep} = \frac{F_{irec}}{(1 - C)P_{sep}} = \frac{10854}{(1 - 0,078) \times 5931,7} \approx 1,98$$

▪ **Conclusão de resultados**

De acordo com os valores dos coeficientes de segurança obtidos tanto na verificação do parafuso à sua resistência à tração como na verificação contra a separação das duas superfícies de contacto, constata-se que para ambos se obteve um valor superior a 1.

O coeficiente que revelou maior preocupação foi o de separação,  $n_{sep} \approx 1,98$ , sendo nesse que se obteve o menor valor, comparativamente com o coeficiente de resistência do parafuso à tração, onde se obteve o valor de  $n_b \approx 2,61$ . Ter em atenção, que na obtenção destes coeficientes de segurança já estaria considerado o coeficiente de segurança de 2 (inicialmente tomado para todo o dimensionamento hidráulico), resultando daí um coeficiente final de maior valor para o parafuso.

Verifica-se então, que os parafusos selecionados estão aptos para serem utilizados com a segurança requerida, tendo capacidade para resistir à pressão interior do cilindro.

Os parafusos a instalar serão parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior, com o comprimento da espiga de 30mm, roscados em 18mm, medida M6x1, da classe CR 8.8, segundo a norma DIN 7984.

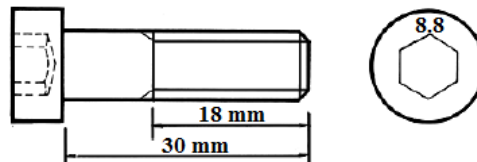


Figura 3.12 – Representação e dimensões dos parafusos a instalar na tampa do cilindro hidráulico.

### 3.5.10. Verificação dos pinos de fixação do cilindro

A instalação do cilindro na plataforma elevatória será realizada através de dois pinos de fixação, um em cada um dos seus extremos, sendo que, o cilindro será equipado conveniente em cada um dos seus topos com olhais macho.

Visto também fazerem parte da instalação do cilindro hidráulico, será verificada a resistência mecânica de ambos os pinos, calculando-se para tal, a tensão de corte a que cada um estará sujeito bem como a tensão equivalente de Von Mises, para comparação com a tensão de cedência do material da sua constituição.

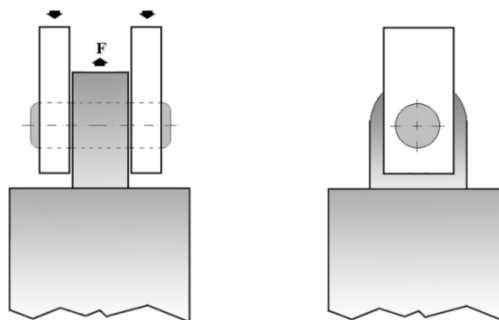


Figura 3.13 – Representação de um pino de fixação sujeito ao corte.



▪ **Tensão de corte em cada um dos pinos**

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F_{cil\ m\acute{a}x.}}{2 \cdot A_{pino\ \phi 16}} = \frac{33800}{2 \times \pi \times 0,008^2} = \mathbf{84,1\ MPa} \quad (3.44)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F_{cil\ m\acute{a}x.}}{2 \cdot A_{pino\ \phi 20}} = \frac{33800}{2 \times \pi \times 0,010^2} = \mathbf{53,8\ MPa} \quad (3.45)$$

▪ **Tensão equivalente de Von Mises em cada um dos pinos sujeitos ao corte**

$$\sigma_{eq\ \phi 16} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0 + 3 \cdot 84,1^2} = \mathbf{145,7\ MPa} \quad (3.46)$$

$$\sigma_{eq\ \phi 20} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0 + 3 \cdot 53,8^2} = \mathbf{93,2\ MPa} \quad (3.47)$$

Como se verifica, obteve-se uma tensão equivalente de Von Mises superior para o pino de menor diâmetro, ou seja, o de 16 mm. Comparando esse valor com a tensão de cedência ( $\sigma_{ced} = 315\ MPa$ ) do material de constituição do pino, St 52.3 DIN 17100, denota-se que estes cumprem com o exigido, uma vez que o valor considerado nos cálculos para  $F_{cil\ m\acute{a}x.}$  já entra com o coeficiente de segurança de 2.

### 3.5.11. Velocidade de funcionamento

De modo a determinar o tempo de elevação da plataforma, é necessário conhecer a velocidade a que a plataforma elevatória terá que funcionar, tendo então sido tomada como referência a velocidade máxima de subida ou descida a que uma plataforma deste tipo deverá operar: 0,5 m/s (The Hong Kong Special Administrative Region, 2002). Considerando este valor como um máximo de referência, utilizou-se a velocidade de 0,10 m/s por ser considerada a suficiente para o efeito, uma vez que se considera em primeiro lugar a segurança dos passageiros e não a rapidez de funcionamento.

Foi também necessário determinar o curso total que o cilindro hidráulico teria que funcionar, tendo-se para o efeito que realizar alguns cálculos de modo a obter esse valor. Começou por considerar-se o comprimento entre os furos de fixação do cilindro quando a plataforma elevatória se encontrava assente no solo (*Caso IV*), tendo-se obtido o valor de 303 mm, seguindo-se a medição entre as mesmas furações quando a plataforma se encontrava no nível superior máximo (*Caso III*), retirando-se o valor de 350 mm.

Tabela 3.5 – Cursos de funcionamento da plataforma e respetivo cilindro

|          | Altura da plataforma em relação ao solo [mm] | Comprimento do Cilindro [mm] | Curso do Cilindro [mm] |
|----------|--|------------------------------|------------------------|
| Caso III | 735  | 350                          | 350 - 303 = 47         |
| Caso IV  | 0  | 303                          |                        |

Conhecendo-se o valor da velocidade de funcionamento da plataforma, bem como o curso do seu funcionamento, é possível determinar o tempo de subida da plataforma elevatória desde o solo até ao nível do piso da viatura, utilizando a seguinte equação.

$$t_{subida\ plataforma} = \frac{curso_{plataforma}}{v_{plataforma}} = \frac{0,735}{0,10} = 7,4\ s \quad (3.48)$$

Sabendo-se que o tempo de subida da plataforma é igual ao tempo de abertura do cilindro hidráulico, para a fazer elevar 735 mm do solo, é possível determinar a velocidade de funcionamento do cilindro hidráulico:

$$v_{cilindro} = \frac{curso_{cilindro}}{t_{subida\ plataforma}} = \frac{0,047}{7,4} \approx 0,00635\ m/s \quad (3.49)$$

### 3.5.12. Caudal de óleo necessário

Determinada a velocidade de funcionamento do cilindro hidráulico, é possível determinar o caudal de óleo ao avanço que este necessita para funcionar adequadamente, utilizando-se para isso a seguinte equação (Götz, 1991).

$$Q_a^+ = S_a \cdot v_{cilindro} = \pi \times \left(\frac{0,055}{2}\right)^2 \times 0,00635 \approx 1,51 \times 10^{-5}\ m^3/s \approx 0,905\ l/min \quad (3.50)$$

Neste ponto considerar-se-á a existência de dois cilindros hidráulicos, necessitando-se por isso do dobro do caudal de óleo para alimentação destes, obtendo-se o valor de 1,81 l/min.

Sabendo o caudal de óleo necessário ao avanço dos cilindros, foi possível seleccionar uma bomba hidráulica capaz de fornecer um valor superior, garantindo assim uma correta alimentação de óleo.

A bomba seleccionada foi do tipo BOSCH, modelo L7, compatível com motores eléctricos de alimentação a 12V, apresentando-se na tabela 3.6 as suas principais características.

Tabela 3.6 – Características técnicas da bomba

| Tipo     | Caudal a 1500 rpm [l/min] | Pressão de funcionamento [bar] | Pressão máxima durante 2 segundos [bar] |
|----------|---------------------------|--------------------------------|---|
| BOSCH L7 | 1,87                      | 190                            | 230                                     |

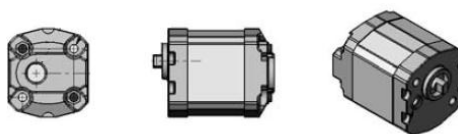


Figura 3.14 – Bomba hidráulica tipo L7, Adaptado de: (Rexroth Bosch Group, 2010).

### 3.5.13. Potência do Motor elétrico

Foi também possível determinar a potência necessária para o motor elétrico, através da equação 3.51, permitindo realizar a seleção de um motor adequado ao requerido (Götz, 1991).

$$P_{motor} = \frac{P \cdot 2 \cdot Q_a^+}{6 \cdot \eta_{global}} = \frac{149,7 \times 2 \times 0,905}{6 \times 100} \approx 0,452 \text{ kW} \approx 452 \text{ W} \quad (3.51)$$

$\eta_{global}$  – Rendimento global do motor em percentagem (considerado 100%)

$Q_a^+$  – Caudal de óleo necessário ao avanço do cilindro em l/min

$P$  – Pressão no interior do cilindro em bar

Tendo em conta a potência requerida de 452 W, selecionou-se um motor com capacidade superior, atendendo a que teria que possuir compatibilidade com a previamente selecionada bomba hidráulica. Atendendo a estes fatores, selecionou-se o motor elétrico do tipo BOSCH, modelo C40, com as seguintes características.

Tabela 3.7 – Características técnicas do motor elétrico

| Tipo         | Voltagem [V] | Potência [W] | Corrente | Sentido de rotação |
|--------------|--------------|--------------|----------|--------------------|
| BOSCH ME C40 | 12           | 500          | DC       | ↔                  |



Figura 3.15 – Motor elétrico tipo C40, Adaptado de: (Rexroth Bosch Group, 2010)

Pelo conjunto do tipo de motor elétrico e bomba hidráulica selecionada, é possível construir um módulo compacto como o que se exemplifica pela figura 3.16, sendo este tipo de equipamento o que se utiliza em viaturas deste género, poupando espaço e facilitando a sua instalação.

Para construção do módulo referido é permitida a seleção de alguns componentes, como os reservatórios de fluido hidráulico, as válvulas direcionais, válvulas limitadoras de pressão, filtro e tipo de suporte. Assim, selecionaram-se os vários componentes por consulta de catálogos da mesma marca, apresentando-se na seguinte tabela as referências correspondentes a cada um (Rexroth Bosch Group, 2010).

Tabela 3.8 – Referência de cada elemento selecionado

| Componente | 1      | 2   | 3     | 4   | 5  | 6   | 7                              | 8    |
|------------|--------|-----|-------|-----|----|-----|--------------------------------|------|
| Referência | ME C40 | E55 | EC V3 | M52 | L7 | G06 | K2.501.S1.320<br>K2.255.10.000 | S270 |

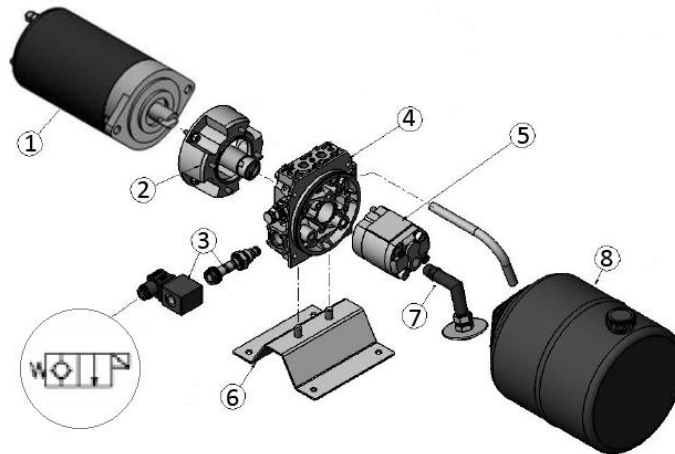


Figura 3.16 – Representação explodida do módulo compacto. 1) Motor elétrico tipo C-40; 2) Junção de elementos; 3) Válvula direcional; 4) Junção para acoplamento de válvulas e cilindro hidráulico; 5) Bomba hidráulica tipo L7; 6) Suporte de instalação; 7) Tubo de sucção e filtro; 8) Reservatório hidráulico, Adaptado de: (Rexroth Bosch Group, 2010)

### 3.5.14. Dimensionamento das tubagens

Com vista a alimentar corretamente o cilindro hidráulico e a suportar as pressões do circuito, selecionou-se uma tubagem de borracha sintética reforçada com malha de aço, tendo-se realizado os seguintes cálculos para obtenção do diâmetro adequado. Este tipo de tubagem oferecerá flexibilidade aos componentes móveis, atenuando também o ruído e as vibrações provocadas pelo escoamento de fluido hidráulico.

Para pressões de funcionamento compreendidas entre 100 e 200 bar, que é o caso, a velocidade de escoamento máxima recomendável em tubagens,  $v_{esc\ máx}$ , varia entre 5 a 6 m/s, de modo a obter escoamentos laminares, podendo ser calculada pela equação 3.52 (Götz, 1991).

$$v_{esc\ máx} = 0,03 \cdot \sqrt{P(400 - P)} = 0,03 \cdot \sqrt{149,7(400 - 149,7)} = 5,8 \text{ m/s} \quad (3.52)$$

$P$  – Pressão no interior do cilindro em bar

Determinada a velocidade máxima recomendada para o escoamento do fluido nas tubagens, foi possível determinar o seu diâmetro interior mínimo, tendo-se para o efeito utilizado a equação 3.53 (Götz, 1991).

$$d_{i\ min} = 4,6 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Q_a^+}{v_{esc\ máx}}} = 4,6 \cdot \sqrt{\frac{2 \times 0,905}{5,8}} = 2,57 \text{ mm} \quad (3.53)$$

$Q_a^+$  – Caudal de óleo necessário ao avanço do cilindro em l/min

$v_{esc\ máx}$  – Velocidade de escoamento máxima recomendável em tubagens em m/s

Por consulta de catálogo, selecionou-se a medida para o diâmetro interior da tubagem imediatamente acima de 2,57 mm, obtendo-se o valor de 4,8 mm, estando esta tubagem normalizada de acordo com a ISO 1436 e a DIN EN 853. Recalculando-se o valor da velocidade de escoamento, mas neste caso da velocidade que iremos ter na realidade nas tubagens, obtém-se:

$$v_{esc} = \frac{2 \cdot Q_a^+}{\left(\frac{d_i}{4,6}\right)^2} = \frac{1,81}{\left(\frac{4,8}{4,6}\right)^2} = 1,66 \text{ m/s} \quad (3.54)$$

$Q_a^+$  – Caudal de óleo necessário ao avanço do cilindro em l/min

$d_i$  – Diâmetro interior das tubagens hidráulicas em mm

Tabela 3.9 – Características da tubagem selecionada

| Diâmetro Interno [mm] | Diâmetro externo [mm] | Pressão de trabalho [psi] | Pressão de trabalho [bar] | Pressão de rutura [psi] | Pressão de rutura [bar] | Peso/ Comprimento [kg/m] |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 4,8                   | 11,8                  | 3625                      | 250                       | 14500                   | 1000                    | 0,23                     |

### 3.6. Representação do sistema hidráulico no programa “Automation Studio®”

Depois de todos os cálculos efetuados e de dimensionados todos os componentes do circuito óleo-hidráulico, utilizou-se o programa informático “Automation Studio®” para representar e simular todo o circuito óleo-hidráulico, de modo a verificar o seu correto funcionamento.

De seguida são apresentados os circuitos hidráulico, elétrico e de potência:

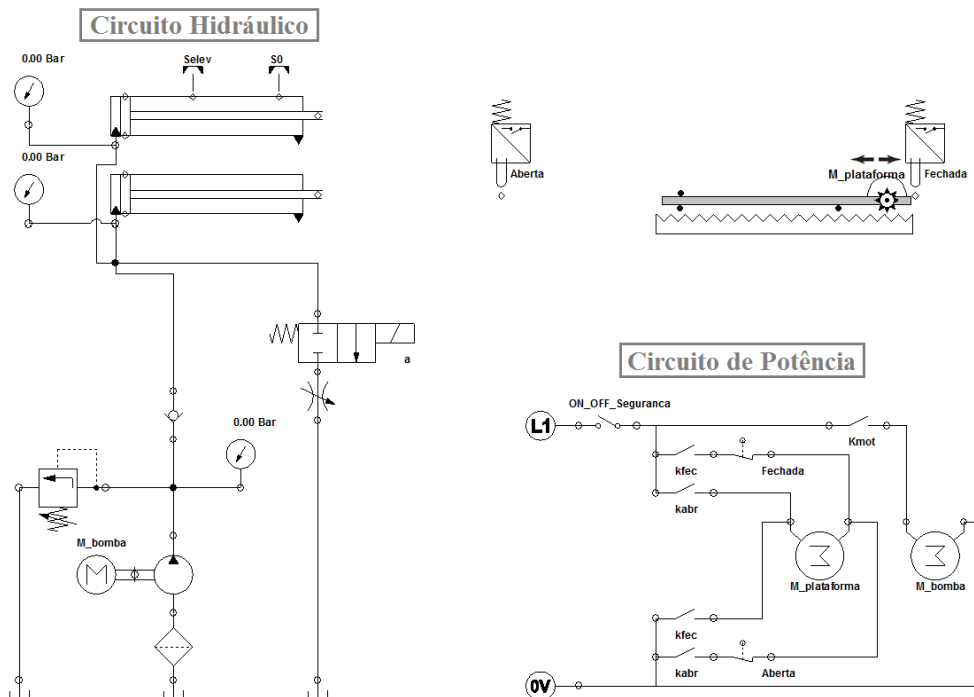


Figura 3.17 – Circuito hidráulico e circuito de potência.

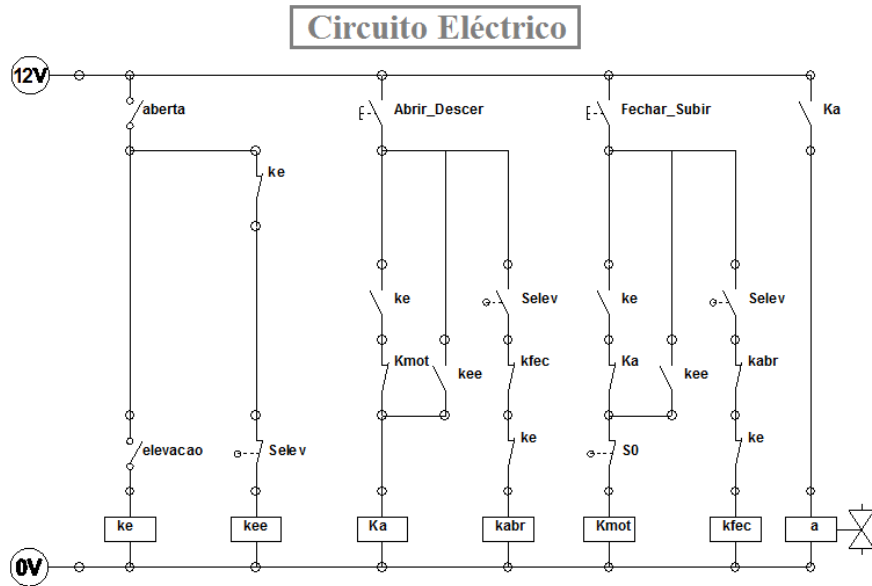


Figura 3.18 – Circuito elétrico.

Tabela 3.10 – Legenda do circuito hidráulico representado na figura 3.17

| Designação  | Símbolo |
|---|---------|
| <b>Cilindro de simples efeito:</b> transforma a pressão do fluido em movimento axial;   |         |
| <b>Manómetro:</b> indica a pressão relativa num determinado ponto;  |         |
| <b>Válvula direcional 2 / 2 (2 orifícios e 2 estados):</b> acionada eletricamente e recuo por mola;   |         |
| <b>Válvula limitadora de pressão:</b> Permite o fluido circular através de si, quando o valor da pressão for superior para a qual foi regulada; |         |
| <b>Válvula reguladora de caudal:</b> Regula o caudal de fluido que circula através de si, limitando a velocidade de escoamento;                 |         |
| <b>Válvula de retenção:</b> Permite o fluido circular apenas num sentido impedindo o seu retorno;   |         |
| <b>Reservatório de fluido:</b> Armazena fluido óleo-hidráulico para o circuito;   |         |
| <b>Filtro:</b> Filtra o fluido, retendo impurezas, de modo a evitar o desgaste e entupimento dos componentes do sistema;                        |         |
| <b>Bomba hidráulica:</b> Bombeia o fluido para o circuito;  |         |
| <b>Motor elétrico:</b> Transmite movimento à bomba hidráulica;  |         |
| <b>Sensor de posição (mecânico):</b> Indica quando a plataforma está aberta ou fechada;   |         |
| <b>Sensor de posição (magnético):</b> Indica a posição do cilindro hidráulico;  |         |

Após a apresentação dos três circuitos e da respetiva legenda, deixa-se uma breve explicação do funcionamento do sistema, de modo a simplificar a sua interpretação.

O sistema terá como entradas do utilizador uma botoneira, do tipo da representada na figura 3.19, possuindo apenas 3 botões. O primeiro terá como função desativar a segurança do sistema, dando acesso aos dois restantes botões "Abrir\_Descer" e "Fechar\_Subir", que terão cada um deles 2 funções distintas. O utilizador terá ainda outro botão designado de "elevação", que fará alternar entre as funções Abrir e Fechar das funções Subir e Descer, situando-se este junto à própria plataforma elevatória.

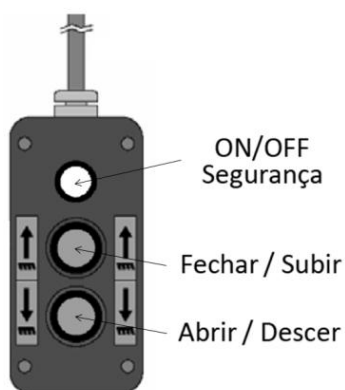


Figura 3.19 – Botoneira de acionamento da plataforma elevatória.

Na plataforma, quando em posição de repouso, os cilindros hidráulicos encontram-se meios estendidos, estando acionado o sensor de posição magnético  $S_{elev}$ , e o botão "elevação" desativado, sendo que quando pressionados os botões "Abrir\_Descer" ou "Fechar\_Subir", a plataforma apenas abre ou fecha respetivamente.

Depois de completamente aberta, será acionado o sensor mecânico "aberta" automaticamente, devendo o utilizador acionar o botão "elevação", para desbloquear as segundas funções dos botões "Abrir\_Descer" e "Fechar\_Subir", permitindo deste modo descer ou subir a plataforma elevatória. Neste ponto a plataforma funcionará livremente para baixo e para cima as vezes que forem necessárias, bastando premir "Abrir\_Descer" e "Fechar\_Subir" unitariamente.

Terminado o carregamento ou descarregamento de cadeiras de rodas, o utilizador deverá desligar o botão "elevação", pressionando de seguida os seguintes botões, dependendo de cada caso:

**Caso1:** Plataforma ficou em cima

1º - Premir o botão "Abrir\_Descer", a plataforma desce até parar automaticamente ao atingir o sensor de posição magnético  $S_{elev}$ ;

2º - Premir o botão "Fechar\_Subir" até a plataforma fechar completamente;

**Caso 2:** Plataforma ficou em baixo

1º - Premir o botão "Fechar\_Subir", a plataforma sobe, atinge o sensor de posição magnético  $S_{elev}$  e fecha automaticamente;

O sensor  $S_0$  serve como sensor de final de curso, interrompendo o sinal elétrico ao motor de acionamento da bomba hidráulica, fazendo com que esta pare e não esteja em esforço durante um maior período de tempo.

De seguida é apresentada uma figura com a representação do funcionamento do circuito:

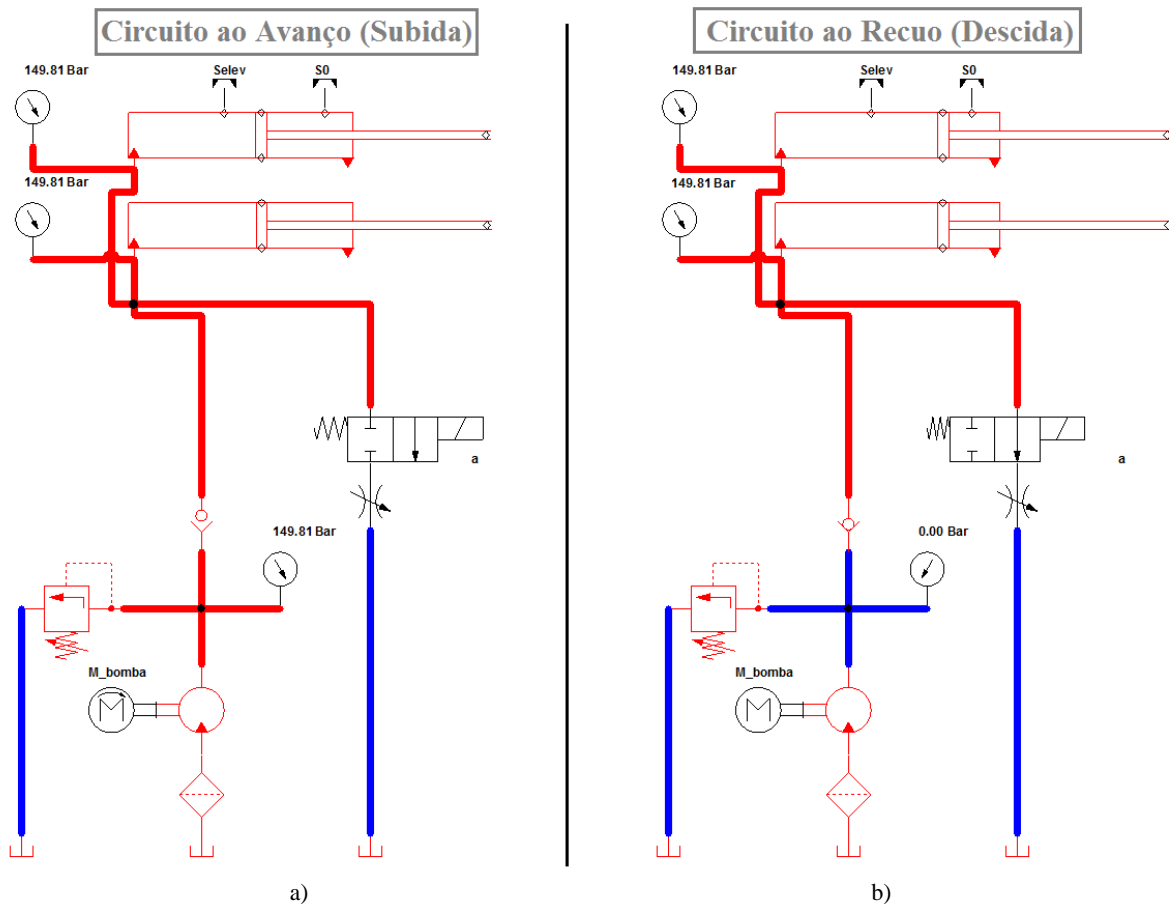


Figura 3.20 – Funcionamento do circuito óleo-hidráulico. a) Circuito de Avanço; b) Circuito de Recuo.



# **CAPÍTULO 4**

## **PROPOSTA DE ESTRUTURA PARA O PISO INTERIOR DA VIATURA**

### **4.1. Introdução**

Neste capítulo é apresentada uma proposta de desenvolvimento de uma estrutura em tubagem metálica para instalação no interior da viatura, de modo a promover a criação de um piso “falso”, que permita o transporte de pessoas em cadeiras de rodas. A proposta aqui apresentada será devidamente ensaiada e testada por meio de programas informáticos que permitem a aplicação de esforços e cargas, simulando um ambiente real de funcionamento.

Para o desenvolvimento desta proposta, será necessário estudar as características do chassis da viatura, bem como todos os fatores que terão relevância para o processo.

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 a instalar na viatura adaptada para transporte de deficientes motores, a abastecer os serviços da C.M.L.. Deste modo foi 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.

### **4.2. Análise de Necessidades**

#### **4.2.1. Objetivos da estrutura**

A criação de um novo piso interior tem como objetivo sobrelevar o piso original da viatura, isto é, o piso fornecido e equipado de origem pela Mercedes Benz. Esta alteração consiste em

criar uma estrutura metálica, elevada a uma altura adequada e suficiente, de modo a permitir a movimentação da plataforma elevatória para o seu interior sem colisões.

#### **4.2.2. Requisitos da estrutura**

Partindo dos objetivos da estrutura a implementar no projeto, referidos anteriormente, devem ser definidos os requisitos que lhe serão impostos, de modo a procurar soluções fiáveis e adequadas.

Para o desenvolvimento deste sistema foram impostos os seguintes requisitos, ou características:

- Capacidade de suportar a carga de 7 bancos, com os seus respetivos ocupantes;
- Capacidade de suportar a carga de 2 cadeiras de rodas elétricas e 2 cadeiras manuais, em simultâneo;
- Capacidade de suportar a carga de 4 cadeiras de rodas manuais em simultâneo;
- A sua elevação deve ser tal, que permita o acondicionamento sob si, da plataforma elevatória instalada, possuindo no mínimo uma altura de 145 mm;
- A sua elevação não deve ser demasiada, para não retirar muita altura ao habitáculo da viatura, uma vez que este deve possuir no mínimo 1,8 metros, para permitir deslocações de pé no seu interior;
- A estrutura deve ter capacidade para fixação das cadeiras de rodas, bem como fornecer resistência mecânica suficiente em caso de colisão da viatura;
- Deve abranger toda a área destinada a carga, isto é, a zona intermédia entre os dois bancos frontais (do condutor e acompanhante) e a extremidade traseira do chassis;
- Na zona da porta lateral, a estrutura deve ser construída de modo a criar um degrau, para facilitar a entrada e saída dos ocupantes pelo seu próprio pé;
- Deverá conseguir atingir-se um coeficiente de segurança igual ou superior a 3, obtido da divisão dos valores de tensão de cedência dos materiais utilizados, pelos valores da tensão que efetivamente atuarão na estrutura.

#### **4.2.3. Modalidades de transporte**

Considerando-se que a lotação máxima da carrinha adaptada possam ser 9 lugares sentados, visto tratar-se de uma viatura ligeira, os lugares foram distribuídos de modo a conferir uma máxima segurança aos passageiros.

Visto que o veículo não estará limitado ao transporte somente de um tipo de pacientes em simultâneo, descrevem-se os diferentes modos aplicáveis:

- 5 Passageiros sentados em bancos rotativos + 1 passageiro sentado em banco fixo + 1 passageiro sentado em banco removível + acompanhante + condutor;
- 1 Passageiro sentado em banco fixo + 1 passageiro sentado em banco removível + 3 passageiros sentados em bancos rotativos + 1 passageiro em cadeira de rodas manual + acompanhante + condutor;
- 1 Passageiro sentado em banco fixo + 1 passageiro sentado em banco removível + 1 passageiro sentado em banco rotativo + 2 passageiros em cadeiras de rodas manuais + acompanhante + condutor;
- 1 Passageiro sentado em banco fixo + 1 passageiro sentado em banco removível + 3 passageiros em cadeiras de rodas manuais + acompanhante + condutor;
- 1 Passageiro sentado em banco fixo + 4 passageiros em cadeiras de rodas manuais + acompanhante + condutor;
- 1 Passageiro sentado em banco fixo + 3 passageiros em cadeiras de rodas manuais + 1 passageiro em cadeira de rodas elétrica + acompanhante + condutor;
- 1 Passageiro sentado em banco fixo + 2 passageiros em cadeiras de rodas manuais + 2 passageiros em cadeiras de rodas elétricas + acompanhante + condutor;
- 1 Passageiro sentado em banco fixo + 1 passageiro sentado em banco removível + 3 passageiros sentados em bancos rotativos + 1 passageiro em cadeira de rodas elétrica + acompanhante + condutor;
- 1 Passageiro sentado em banco fixo + 2 passageiros sentados em bancos rotativos + 2 passageiros em cadeiras de rodas elétricas + acompanhante + condutor;

Aquando do transporte em simultâneo de 2 cadeiras de rodas elétricas, devido ao seu peso considerável, estas deverão ser distribuídas corretamente, isto é, de modo a repartir o peso pelo piso da viatura, oferecendo uma maior estabilidade à mesma. Não deverão então viajar lado a lado nem ambas do mesmo lado da carrinha, tendo que ser instaladas em cruz, sendo fixada a mais à frente do lado direito e a mais atrás do lado esquerdo, para que seja distribuída mais uniformemente a carga pelas vigas de trás e da frente do piso.

Quando é feito o transporte de 2 cadeiras de rodas elétricas e 2 cadeiras de rodas manuais, estas últimas, deverão ocupar os lados opostos e livres da configuração em cruz, ficando assim situadas lado a lado com as cadeiras elétricas.

A visualização da distribuição dos lugares, ou seja, das cadeiras de rodas, será disponibilizada mais à frente no trabalho, depois de se realizar a construção do modelo real para o piso interior em programas informáticos de modelação tridimensional.

### 4.3. Modelo simplificado do piso interior

A estrutura a construir terá que ser montada no interior da viatura, tendo para isso que possuir dimensões específicas de comprimento e largura total. Essas dimensões foram obtidas diretamente do chassis da viatura, sendo apresentadas de seguida.

- Comprimento total da zona útil de carga: 4,450 metros
- Largura total da zona útil de carga: 1,790 metros

De seguida representa-se um modelo simplificado do que se pretende instalar no interior da carrinha, servindo apenas esta representação como guia no desenvolvimento da estrutura real. A superfície mais escura será o piso sobrelevado a desenvolver, tendo-se em atenção a zona de entrada pela porta lateral e a zona das cavas das rodas traseiras, que influenciarão a sua forma.

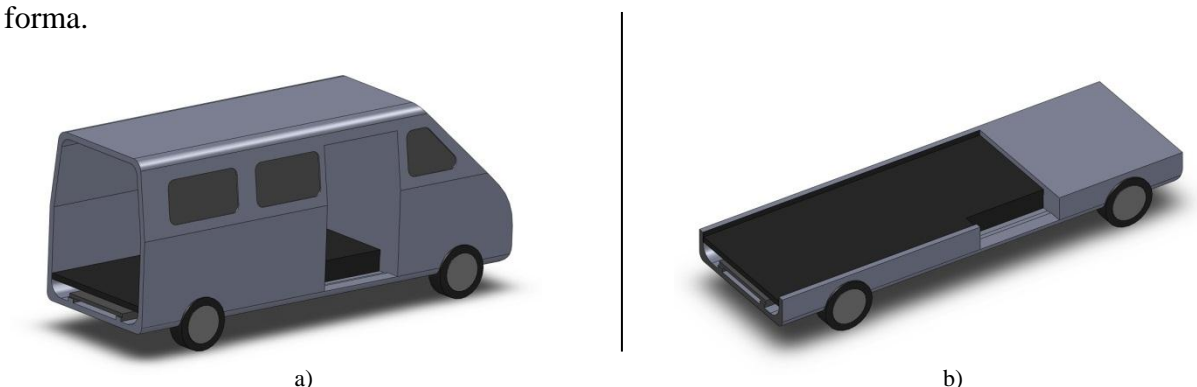


Figura 4.1 – Modelo simplificado do piso interior a instalar na carrinha. a) Vista lateral; b) Vista em corte.

- Primeira simplificação ao modelo

Na primeira simplificação foram tidas em conta apenas as medidas do comprimento e largura da zona útil de carga, bem como as dimensões necessárias para criar um degrau, junto da porta lateral.

- Segunda simplificação ao modelo

Na segunda simplificação já se teve em consideração a existência das cavas das rodas, verificando-se para o efeito um entalhe em cada lateral da estrutura com as dimensões de 820 x 195 mm.

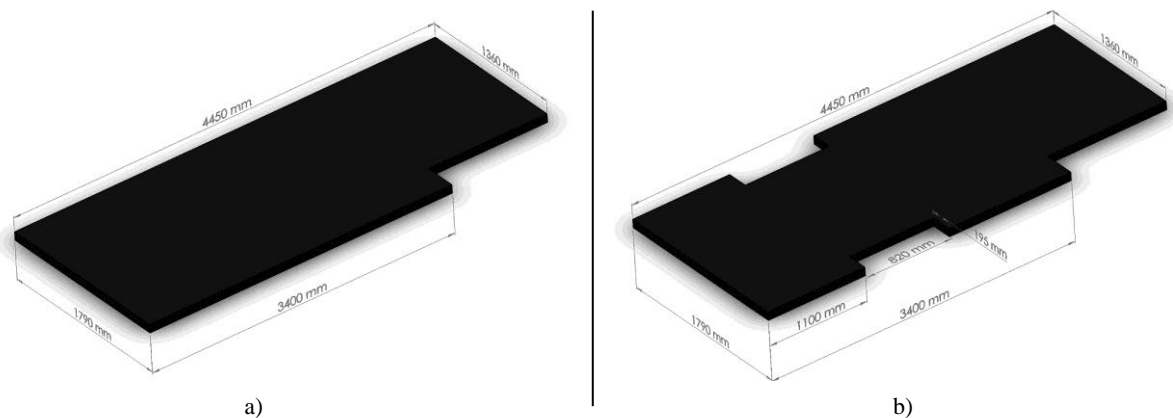


Figura 4.2 – Simplificações ao modelo. a) Primeira simplificação; b) Segunda simplificação.

Como referido anteriormente, estas duas simplificações servem apenas para ter uma rápida visualização do que se pretende construir, devendo-se a partir deste ponto detalhar todas as dimensões, materiais utilizados e considerações que se tiveram em conta.

#### 4.4. Construção do modelo real do piso interior

Neste ponto irá ser especificado o desenvolvimento da estrutura real do piso interior instalado na viatura para transporte adaptado. Irá verificar-se que a estrutura será constituída basicamente por tubos e barras de secção retangular, devendo estes ser dispostos de modo a oferecer uma boa resistência mecânica e ainda situar-se em zonas específicas, permitindo assim a fixação de todos os componentes necessários a instalar no interior da viatura.

Deverão ter-se em consideração as medidas do comprimento e largura total da zona útil de carga, bem como as dimensões das cavas das rodas e da altura a que a estrutura será instalada do piso original da viatura.

##### 4.4.1. Considerações tidas em conta

Por norma a respeitar toda a legislação existente, aplicável ao transporte de deficientes motores em cadeiras de rodas, foram tidas em consideração várias referências. Todas as referências aqui mencionadas foram respeitadas, de modo a permitir uma correta construção da estrutura para o piso interior.

O sistema de fixação para cadeiras de rodas a instalar nesta viatura será o descrito na norma ISO 10542, designando-se por WTORS (ver ponto 2.6.1. do capítulo 2). Sendo assim, foram

considerados os ângulos de fixação para as cintas ai referidos, o que permitiu determinar a zona e as dimensões das calhas que serão instaladas sobre a estrutura a construir.

Este ponto terá elevado interesse, visto que as calhas terão que ser montadas na estrutura em zonas que ofereçam uma elevada resistência mecânica, permitindo uma eficaz fixação e oferecendo segurança aos ocupantes.

Foram também consideradas as distâncias entre furações das calhas, para que quando for feita a sua montagem no piso, por parafusos, essas coincidam com as zonas da estrutura destinadas à fixação das mesmas, ou seja, zonas de maior resistência.

Ainda em consideração, foram tidas em conta as dimensões de cadeiras de rodas manuais e elétricas, de modo a determinar o correto afastamento das calhas de fixação das laterais da carrinha, e permitir centrar a cadeira de rodas com o eixo de simetria entre as duas calhas. De seguida são representados dois casos, onde se visualiza um correto e um incorreto alinhamento entre o eixo de simetria da cadeira de rodas e o eixo de simetria das calhas de fixação.

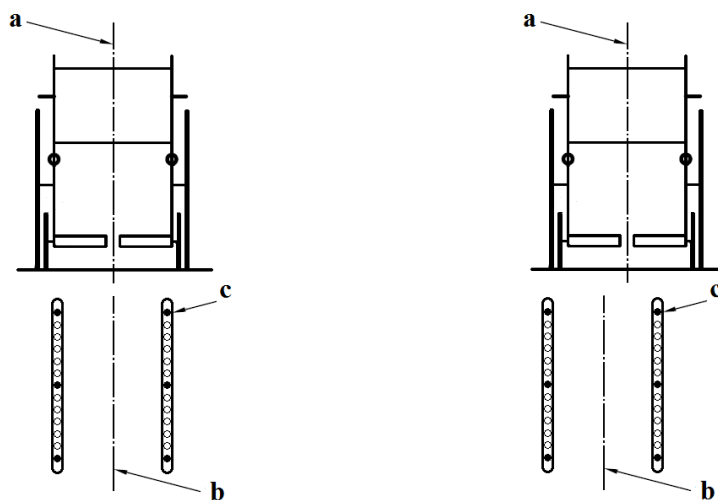


Figura 4.3 – Alinhamento entre o eixo de simetria da cadeira de rodas e o eixo de simetria das calhas de fixação. À esquerda representa-se um correto alinhamento e à direita um incorreto alinhamento. Legenda: a – eixo de simetria da cadeira de rodas; b – eixo de simetria entre as duas calhas; c – zonas de fixação, por parafusos, à estrutura do piso interior.

#### 4.4.2. Características do material utilizado

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

As informações referentes às características dos materiais utilizados foram fornecidas pela empresa Auto Ribeiro Lda., permitindo assim realizar a construção do modelo em programas

específicos de modelação 3D, e realizar todos os ensaios mecânicos necessários. De seguida são especificadas as características de cada um dos materiais utilizados:

▪ Tubos

Tubos TPS de secção retangular com as dimensões 60×30 mm e 60×40 mm, sendo o seu material de constituição aço de construção S355JR, de acordo com a norma de material EN 10025 e com a norma dimensional DIN 10219-1/2.

▪ Barras

Barras de secção retangular com as dimensões 60×5 mm, sendo o seu material de constituição aço de construção S355JR, de acordo com a norma de material EN 10025 e com a norma dimensional DIN 1017 parte 1.

▪ Chapas

Chapas de espessura de 1,5, 3, 4 e 6 mm, sendo o seu material de constituição aço de construção S355JR, de acordo com a norma de material EN 10025 e com a norma dimensional EN 10051.

Seguidamente é apresentada uma tabela com algumas características do material, sendo que, no anexo VIII, poderão ser consultadas todas as informações recolhidas sobre o mesmo, bem como as dimensões comercializadas para os diferentes perfis (ver ponto I do anexo VIII).

Tabela 4.1 – Resumo das principais propriedades do material

| Material | Nº     | Equivalência ASTM | Tensão de Cedência [Mpa] | Tensão de Rutura [Mpa]           | Módulo de Elasticidade [GPa] | Coefficiente de Poisson |
|----------|--------|-------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| S355JR   | 1.0045 | A572Gr50          | 355 (até 16mm espessura) | 470-610 (de 3 a 100mm espessura) | 210                          | 0,3                     |

#### 4.4.3. Dimensões e quantidades dos materiais utilizados

Depois de definidas as características dos materiais, foram recolhidas todas as dimensões da estrutura real construída, facilitando a interpretação e posteriormente a introdução de dados nos programas informáticos de modelação e simulação 3D.

De referir que todas as dimensões foram obtidas presencialmente na empresa Auto Ribeiro Lda., de modo a modelar em programas informáticos a estrutura à sua escala real, permitindo uma obtenção de dados de simulação mais credíveis.

Na tabela 4.2 são descritas todas as dimensões dos materiais utilizados, bem como as quantidades necessárias à completa construção da estrutura.

Tabela 4.2 – Dimensões e quantidades dos materiais utilizados

| Quantidade | Designação        | Comprimento [mm] | Largura [mm] | Material |
|------------|-------------------|------------------|--------------|----------|
| 47         | TUBOS             |                  | -            | -        |
| 7          | Tubo 60x30x4 [mm] | 1670             | -            | S355JR   |
| 1          | Tubo 60x30x4 [mm] | 1410             | -            | S355JR   |
| 24         | Tubo 60x30x4 [mm] | 185              | -            | S355JR   |
| 1          | Tubo 60x30x3 [mm] | 1670             | -            | S355JR   |
| 2          | Tubo 60x30x3 [mm] | 405              | -            | S355JR   |
| 2          | Tubo 60x30x3 [mm] | 1110             | -            | S355JR   |
| 1          | Tubo 60x30x3 [mm] | 2580             | -            | S355JR   |
| 1          | Tubo 60x30x3 [mm] | 1530             | -            | S355JR   |
| 1          | Tubo 60x30x3 [mm] | 1050             | -            | S355JR   |
| 1          | Tubo 60x30x3 [mm] | 430              | -            | S355JR   |
| 6          | Tubo 60x40x6 [mm] | 185              | -            | S355JR   |
| 42         | BARRAS            |                  |              |          |
| 12         | Barra 60x5 [mm]   | 290              | -            | S355JR   |
| 12         | Barra 60x5 [mm]   | 350              | -            | S355JR   |
| 12         | Barra 60x5 [mm]   | 430              | -            | S355JR   |
| 5          | Barra 60x5 [mm]   | 465              | -            | S355JR   |
| 1          | Barra 60x5 [mm]   | 495              | -            | S355JR   |
| 23         | CHAPAS            |                  |              |          |
| 1          | Chapa 1.5 [mm]    | 1100             | 740          | S355JR   |
| 1          | Chapa 1.5 [mm]    | 1770             | 1070         | S355JR   |
| 1          | Chapa 1.5 [mm]    | 1380             | 820          | S355JR   |
| 1          | Chapa 1.5 [mm]    | 1770             | 1470         | S355JR   |
| 1          | Chapa 1.5 [mm]    | 1340             | 1070         | S355JR   |
| 1          | Chapa 1.5 [mm]    | 1050             | 205          | S355JR   |
| 1          | Chapa 1.5 [mm]    | 430              | 205          | S355JR   |
| 1          | Chapa 1.5 [mm]    | 490              | 205          | S355JR   |
| 2          | Chapa 1.5 [mm]    | 1697             | 205          | S355JR   |
| 4          | Chapa 3 [mm]      | 305              | 185          | S355JR   |
| 4          | Chapa 3 [mm]      | 290              | 290          | S355JR   |
| 2          | Chapa 3 [mm]      | 430              | 290          | S355JR   |
| 2          | Chapa 4 [mm]      | 290              | 130          | S355JR   |
| 1          | Chapa 6 [mm]      | 355              | 190          | S355JR   |

#### 4.4.4. Construção 3D da estrutura

Depois de recolhida toda a informação referente às características, dimensões e quantidades dos materiais utilizados na construção real da estrutura, torna-se mais simples e direta a construção do modelo em programas de modelação 3D, tendo-se utilizado para o efeito os programas SolidWorks® 2010 e ANSYS®.



As simplificações ao modelo apresentadas anteriormente (no ponto 4.3) também serviram como referência para a construção 3D da estrutura, uma vez que nelas são apresentadas as dimensões máximas de comprimentos e larguras da mesma.

Ambos os modelos tridimensionais, aqui definidos, servirão para demonstrar visualmente o aspeto da estrutura construída fisicamente, bem como, utiliza-los para a realização de ensaios e testes em programas informáticos de simulação.

De seguida são apresentados os dois modelos, utilizando-se os programas SolidWorks® e ANSYS® para a sua construção. Informa-se que as estruturas apresentadas de seguida representam o piso interior desenvolvido, embora que, para uma melhor visualização de todos os componentes constituintes, não sejam apresentadas as chapas de cobertura com a espessura de 1,5 mm. Estas chapas, como se verá posteriormente, irão ser colocadas na estrutura para oferecer planicidade ao piso e lhe conferir uma maior resistência.

#### 4.4.4.1. Construção do modelo em SolidWorks®

Para a construção do modelo utilizando-se o programa SolidWorks®, foram introduzidas as dimensões das secções e das relações existentes entre cada um dos componentes, construindo-se por passos toda a estrutura, chegando-se ao resultado que se apresenta na figura 4.4. De notar que todos esses passos foram realizados utilizando a interface gráfica e comandos do próprio programa (botões de atalho).

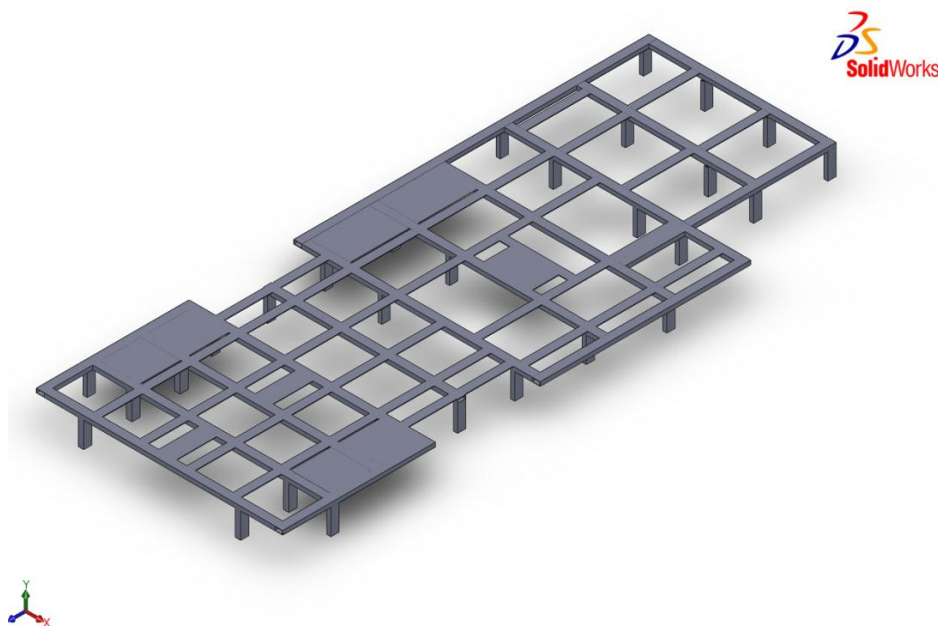


Figura 4.4 – Modelo tridimensional da estrutura, construído em SolidWorks®.

#### 4.4.4.2. Construção do modelo em ANSYS®

Na construção da estrutura, utilizando-se o programa ANSYS®, tiveram que ser feitas algumas considerações, com o objetivo de se obter uma estrutura semelhante à reproduzida verdadeiramente. Para tal, tiveram que ser determinadas todas as linhas de eixo dos tubos e barras, bem como todos os pontos de interseção das mesmas, de modo a tornar possível a introdução de todos os pontos (Keypoints) e linhas (lines) que definirão a estrutura do modelo a construir. De notar, que a introdução de dados neste programa foi baseada em programação desenvolvida num ficheiro de texto, que depois de aberto pelo próprio ANSYS®, nos proporciona o resultado abaixo descrito.

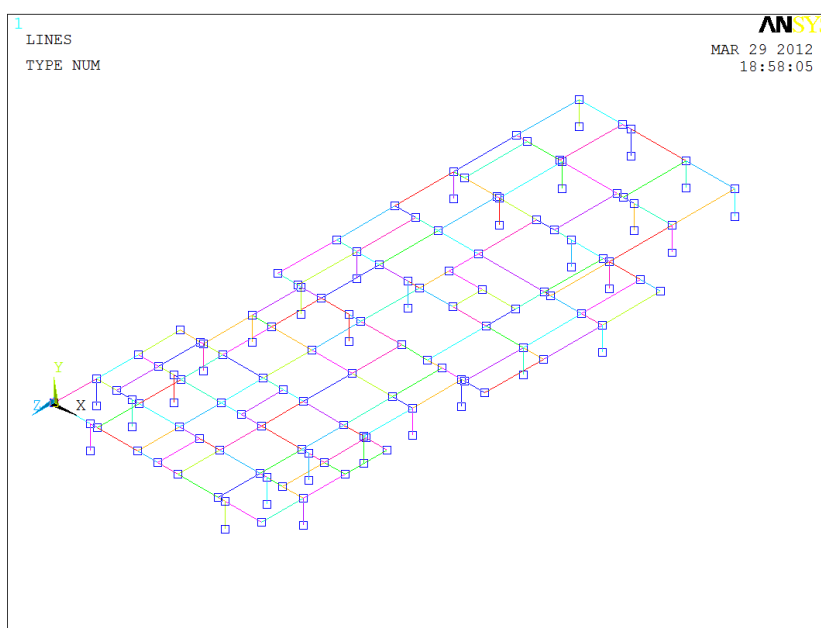


Figura 4.5 – Representação de todas as linhas e pontos da estrutura, em ANSYS®.

Como se pode observar pela figura anterior, o modelo em estudo é constituído por segmentos de reta (divididos por pontos) que foram modelados de modo a permitir introduzir todos os componentes da estrutura.

De referir, que podem ser consultadas duas figuras devidamente legendadas, contendo uma todos os pontos e suas coordenadas e outra todas as linhas, no anexo I. Apresenta-se também, nesse mesmo anexo, toda a lista de pontos e suas coordenadas, bem como, toda a lista de linhas definidas.

Na figura 4.6, é apresentado o aspeto final do modelo construído em ANSYS® com as suas devidas secções de materiais já definidas.

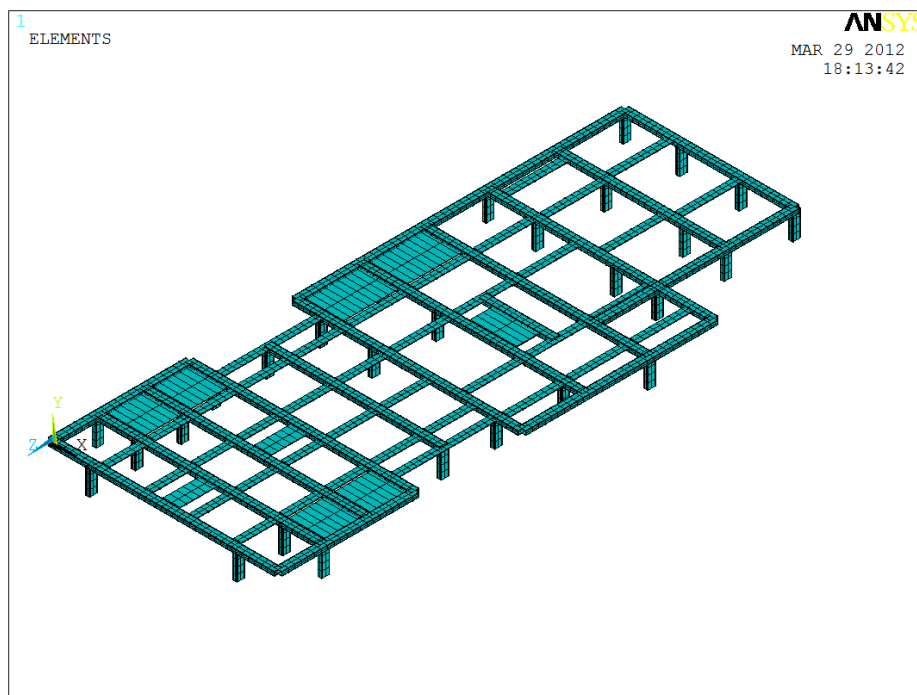


Figura 4.6 – Modelo tridimensional da estrutura, construído em ANSYS®.

## 4.5. Estudos efetuados em programas informáticos

### 4.5.1. Introdução

Na fase de projeto, a simulação em programas de cálculo utilizando elementos finitos é bastante importante, permitindo simular os componentes que foram idealizadas. Para isso utilizou-se o programa ANSYS® versão 11.0 e a aplicação Simulation do SolidWorks® 2010 e aplicaram-se os esforços a que os componentes estão sujeitos em ambiente de funcionamento (esforços máximos).

Como é sabido, estes programas permitem a utilização de vários tipos de elementos finitos, consoante o tipo de estudo que se pretenda realizar e os materiais de que são construídos os componentes.

Nas análises efetuadas no programa ANSYS® utilizou-se o elemento BEAM188, já nas análises realizadas na aplicação Simulation do SolidWorks® foi utilizado o elemento padrão.

Irão ser descritos todos os estudos que se realizaram ao piso interior da viatura, permitindo assim efetuar uma análise detalhada do seu comportamento quando solicitada nas condições de utilização mais severas.

De início pretende-se efetuar uma análise estática recorrendo a métodos analíticos (teoria das vigas) de forma a poder validar o elemento BEAM188, que foi selecionado para realizar os

estudos do piso interior da viatura, considerando-a como um conjunto de vigas (Estrutura de tubos de secção retangular).

De seguida, os cálculos analíticos serão comparados com estudos semelhantes realizados nos programas ANSYS® e SolidWorks®, de modo a comprovar que os resultados são semelhantes.

Os estudos virão devidamente fundamentado e acompanhados da lista de comandos do programa ANSYS® de modo a que possam ser realizados novamente e comprovados os resultados apresentados. No anexo II apresentam-se todos esses comandos.

#### 4.5.2. Coeficiente de segurança a considerar (estimado)

Com o objetivo de oferecer a todos os ocupantes da viatura a devida segurança, foi referido nos requisitos impostos ao desenvolvimento da estrutura para o piso interior, que o coeficiente de segurança devia tomar valor igual ou superior a 3. A determinação deste valor foi obtida pela multiplicação de dois fatores de segurança, realizando-se uma aproximação e tomando diversos fatores em consideração. A seleção de um coeficiente de segurança baixo pode levar a possibilidade de falha da estrutura, sendo que, em caso contrário, a seleção de um valor elevado poder levar ao sobredimensionamento e aumento dos custos da mesma.

Utilizando-se a equação que de seguida se apresenta, onde se entrará com a incerteza proveniente de três fatores de influência para estimar o valor do coeficiente de segurança para materiais dúcteis, foi feita a determinação deste valor considerando-se o maior dos três fatores selecionados (Norton, 2000).

$$n_{material\ dúctil} = MAX(f1, f2, f3) \quad (4.1)$$

$f1$  – Fator referente aos dados disponíveis das propriedades dos materiais utilizados;

$f2$  – Fator referente às condições ambientais nas quais será utilizado;

$f3$  – Fator referente aos modelos analíticos de simulação para aplicação de forças e tensões;

Da mesma referência, foi consultada uma tabela informativa com os valores que as variáveis  $f1$ ,  $f2$  e  $f3$  poderão tomar, chegando-se às seguintes conclusões:  $f1$ ,  $f2$  e  $f3$  tomarão cada uma o valor de 2, visto que os dados de características do material estão disponíveis, as condições de teste representarem semelhança com as condições ambientais de funcionamento e os modelos construídos em programas de modelação 3D representarem com analogia o sistema real (Norton, 2000).

Por substituição dos fatores, na equação 4.1, obtêm-se o valor do coeficiente de segurança para materiais dúcteis:

$$n_{material\ dúctil} = MAX(2, 2, 2) = 2 \quad (4.2)$$

Determinado o primeiro fator de segurança, deverá agora ser tomado outro em consideração, o fator de choque ( $n_{choque}$ ), visto que as piores situações de solicitação ocorrerão aquando da colisão da viatura. Foi tomado o valor de 1,5 para esse mesmo fator, que foi multiplicado pelo valor do coeficiente de segurança para materiais dúcteis anteriormente determinado, obtendo-se a equação 4.3.

$$n_{seg\ estimado} = n_{material\ dúctil} \times n_{choque} = 2 \times 1,5 = 3 \quad (4.3)$$

Da multiplicação destes dois fatores de segurança, foi possível estimar um valor mínimo para o coeficiente de segurança a considerar, tomando este o valor de 3, como inicialmente enunciado. Será então tomado este valor como referência em todos os ensaios e simulações a efetuar, servindo de comparação para com os valores obtidos.

#### 4.5.3. Estudo de validação

A utilização destes programas dá uma aproximação à realidade do comportamento da estrutura, como se esta fosse construída e carregada verdadeiramente. 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.

Um dos primeiros passos que se realizou foi a pesquisa pelo tipo de elemento normalmente usado em construções metálicas, nomeadamente na utilização de perfis metálicos (vigas). Essa pesquisa foi baseada na base de dados do próprio programa ANSYS<sup>®</sup>, chegando-se à conclusão de que o elemento mais indicado seria o elemento denominado por “BEAM188”.

Dessa mesma pesquisa retirou-se a ideia de que este elemento é muito utilizado para a construção de estruturas com vigas de pequenas a grandes secções, podendo essas apresentar diferentes configurações, o que se enquadra neste caso.

Irá ser realizada a validação do elemento escolhido (BEAM188) do ANSYS<sup>®</sup> e do elemento padrão do SolidWorks<sup>®</sup> através da análise de uma viga encastrada com perfil retangular e submete-la a um carregamento. Irá ser analisada de modo analítico, calculando assim a flecha,

declive e tensão máximas presentes e utilizando os programas ANSYS<sup>®</sup> e SolidWorks<sup>®</sup>. Por fim comparar-se-ão os resultados para ter uma noção do desvio que os elementos darão face aos cálculos analíticos. Ficaremos assim com a noção da aplicabilidade destes dois elementos e dos programas informáticos de simulação.

Para simplificação do trabalho serão apenas aqui apresentados os resultados finais obtidos, realizando-se uma comparação e análise entre eles. De referir, que se apresentam para consulta, no anexo III, todas as equações utilizadas, todos os cálculos analíticos efetuados, bem como todos os resultados obtidos quer analiticamente quer por meio de programas informáticos.

### *Comparação de resultados*

De acordo com os resultados obtidos quer através do método analítico, quer através das simulações em ANSYS<sup>®</sup> e SolidWorks<sup>®</sup>, construiu-se uma tabela síntese que agrupa os diversos valores:

Tabela 4.3 – Comparação de resultados

|                  | Método analítico | Programa ANSYS <sup>®</sup> | Programa SolidWorks <sup>®</sup> | Unidade |
|------------------|------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------|
| Declive          | -0,027           | -0,027                      | -                                | [rad]   |
| Flecha           | 17,85            | 17,94                       | 17,77                            | [mm]    |
| Tensão Von Mises | 168,9            | 167,1                       | 172,3                            | [MPa]   |

Por análise dos resultados, observa-se que os valores obtidos pelos diversos métodos utilizados no cálculo são aproximados, tendo sido assumidos o elemento (BEAM188) e o elemento padrão, para os programas ANSYS<sup>®</sup> e SolidWorks<sup>®</sup> respetivamente, para realização dos estudos do piso interior da viatura.

Verifica-se que, de entre os valores obtidos para a Tensão de Von Mises, o valor alcançado quando se utiliza o programa SolidWorks<sup>®</sup>, é o mais elevado, isto poderá significar que o resultado apresentado será mais conservativo no que respeita a segurança.

Com base nestes resultados, assume-se que ambos os programas estão a fornecer dados aceitáveis, podendo ser aplicáveis e utilizados para os seguintes estudos. Para consulta de dados mais detalhados relativamente a cálculos analíticos consultar anexo III-I e III-II.

#### **4.5.4. Estudos efetuados aos modelos 3D construídos**

Com o principal objetivo de estudar a estrutura desenvolvida fisicamente na empresa Auto Ribeiro Lda., foi criado um modelo representativo da mesma, em programas informáticos de modelação tridimensional, como dito anteriormente. Deste modo será possível realizar todas

as simulações convenientes para confirmar a aptidão da estrutura, quando exposta a situações de solicitações do dia a dia, ou situações extremas como o caso de colisão.

Os estudos com principal interesse serão aqueles que criem ambientes de situações extremas, sendo que, se a estrutura resistir a tais solicitações também terá capacidade para suportar situações de menor carga.

Segundo Bermound *et al.*, (2010), são apresentados vários resultados de ensaios de colisão de viaturas para transporte de cadeiras de rodas, utilizando o sistema WTORS, conforme descrito pela norma ISO 10542. Foram então considerados alguns dos valores obtidos para realizar os seguintes estudos.

Segundo a norma ISO 10542, na qual se baseiam os estudos, as cadeiras de rodas manuais ou elétricas destinadas a serem utilizadas por adultos ou crianças de massa igual ou superior a 22kg, encontram-se orientadas para a frente da viatura, sendo realizados testes de impacto frontal a uma velocidade de 48 km/h sujeitos a uma desaceleração de aproximadamente 20 g's. As cadeiras de rodas (manuais ou elétricas) consideradas nos ensaios cumprem com os requisitos da norma ISO 7176-19.

Os valores de especial interesse para os estudos serão os pesos dos dois tipos de cadeiras de rodas a transportar pela viatura a desenvolver neste projeto, os pesos considerados para os ocupantes, os ângulos de fixação que foram considerados para cada tipo de cadeira, as distâncias entre os pontos de fixação, a normalização em que se basearam os ensaios e as forças medidas junto aos pontos de fixação das cadeiras de rodas ao piso da viatura. De seguida são apresentadas tabelas resumo, com toda a informação necessária:

Tabela 4.4 – Massa de cada tipo de cadeira de rodas. Adaptado de: (Bermound et al., 2010)

| <b>Tipo de Cadeira</b> | <b>Descrição</b> | <b>Massa total [kg]</b> |
|------------------------|------------------|-------------------------|
| Manual                 | Standard         | 35,5                    |
| Elétrica               | Standard         | 106                     |

Tabela 4.5 – Características consideradas para os passageiros. Adaptado de: (Bermound et al., 2010)

| <b>Características do passageiro</b> | <b>Altura [m]</b> | <b>Massa total [kg]</b> |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Boneco de testes (Crash-test Dummy)  | 1,75              | 76                      |

Tabela 4.6 – Distâncias de fixação. Adaptado de: (Bermound et al., 2010)

| <b>Distâncias entre pontos de fixação</b> | <b>Comprimento [mm]</b> | <b>Largura [mm]</b> |
|---|-------------------------|---------------------|
| Cadeiras de rodas Manual/Elétrica         | 1300                    | 400                 |

Tabela 4.7 – Forças e ângulos medidos nos pontos de fixação ao piso da viatura. Adaptado de: (Bermound et al., 2010)

| Ponto de fixação         | Tipo de cadeira de rodas |          | Força    |
|--------------------------|--------------------------|----------|----------|
|                          | Manual                   | Elétrica | Unidades |
| <b>Trás / Direito</b>    |                          |          |          |
| Em X                     | -0,11                    | -0,06    | [kN]     |
| Em Y                     | 10,99                    | 10,91    |          |
| Em Z                     | -14,31                   | -20,29   |          |
| Resultante               | 17,95                    | 22,99    |          |
| Angulo da cinta com Z    | 30                       | 20       | [graus]  |
| <b>Trás / Esquerdo</b>   |                          |          |          |
| Em X                     | 0,10                     | 0,13     | [kN]     |
| Em Y                     | 6,83                     | 7,92     |          |
| Em Z                     | -10,94                   | -17,97   |          |
| Resultante               | 12,93                    | 19,65    |          |
| Angulo da cinta com Z    | 30                       | 20       | [graus]  |
| <b>Frente / Direito</b>  |                          |          |          |
| Em Y                     | 3,95                     | 2,20     | [kN]     |
| Em Z                     | 3,95                     | 6,07     |          |
| Resultante               | 5,58                     | 6,46     |          |
| Angulo da cinta com Z    | 45                       | 20       | [graus]  |
| <b>Frente / Esquerdo</b> |                          |          |          |
| Em Y                     | 1,27                     | 0,34     | [kN]     |
| Em Z                     | 1,27                     | 0,93     |          |
| Resultante               | 1,80                     | 1,00     |          |
| Angulo da cinta com Z    | 45                       | 20       | [graus]  |

As cargas que se apresentam na tabela 4.7, são relativas às forças sentidas nos quatro pontos de fixação das cintas de segurança ao piso da viatura, na situação mais extrema, ou seja, na colisão frontal da viatura, sendo que os referenciais utilizados nos ensaios do artigo foram adaptados à orientação dos eixos de referência tomada neste projeto, quando se realizou a construção do modelo. Sendo assim o eixo X será para a direita, o eixo Y para cima e o eixo Z para trás, como se visualiza pela figura 4.7. Observou-se que as cargas orientadas em X nos apoios traseiros são mínimas, comparativamente com as restantes, podendo ser desprezadas, simplificando os cálculos e o problema.

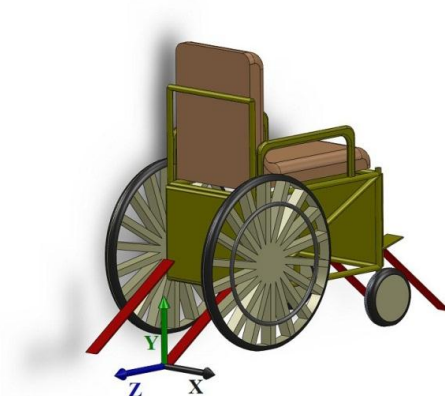


Figura 4.7 – Representação dos referenciais utilizados neste projeto.



De notar que as forças apresentadas se referem a cadeiras de rodas fixas ao piso por quatro cintas e utilizando um cinto de segurança de três pontos, sendo neste caso instalado à esquerda das cadeiras, fazendo com que as forças transmitidas ao piso pelas cintas do lado esquerdo sejam de menor valor que as cintas do lado direito. Visto este detalhe, na simulação em programas informáticos serão aplicadas as forças convenientemente, isto é, tendo em conta a zona de instalação das cadeiras de rodas bem como dos cintos de segurança, ou alternando-se assim as forças sentidas nas cintas do lado esquerdo para o direito, e vice-versa, a fim de se recriar um ambiente mais aproximado do real. Exemplifica-se de seguida, para o caso de cadeira de rodas manual, uma situação utilizando o cinto de segurança do lado esquerdo e outra utilizando o cinto de segurança do lado direito.

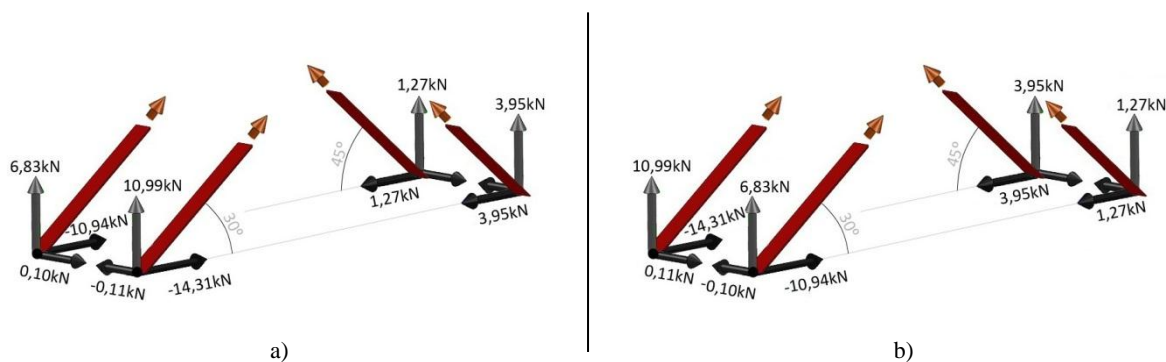


Figura 4.8 – Forças e ângulos aplicados nos pontos de fixação ao piso da viatura. a) Situação utilizando o cinto de segurança do lado esquerdo; b) Situação utilizando o cinto de segurança do lado direito.

#### 4.5.4.1. Estudo inicial à estrutura

Neste estudo é pretendido perceber qual o comportamento da estrutura base, isto é, não considerando ainda instaladas as chapas de cobertura do piso, quando ocorre uma colisão frontal da viatura. Este estudo inicial serve para ter uma noção das cargas a que o piso estará sujeito no momento do impacto. Este momento pode ser separado em duas partes, o momento propriamente do impacto, em que os corpos tendem a mover-se fortemente para a frente, e o momento de recuperação do impacto onde os corpos tendem a voltar à sua posição inicial (movem-se para trás).

Nesta primeira fase serão consideradas apenas as forças de carregamento provocadas pelas cintas de fixação, desprezando-se os pesos das cadeiras de rodas e dos seus ocupantes. Seguidamente apresentam-se as figuras representativas das cargas que serão aplicadas nos programas de simulação, repartindo-se os ensaios por primeira e segunda parte, conforme designações anteriores.

- Cargas a aplicar na primeira parte do estudo (momento propriamente do impacto) para cadeiras manuais e cadeiras elétricas:

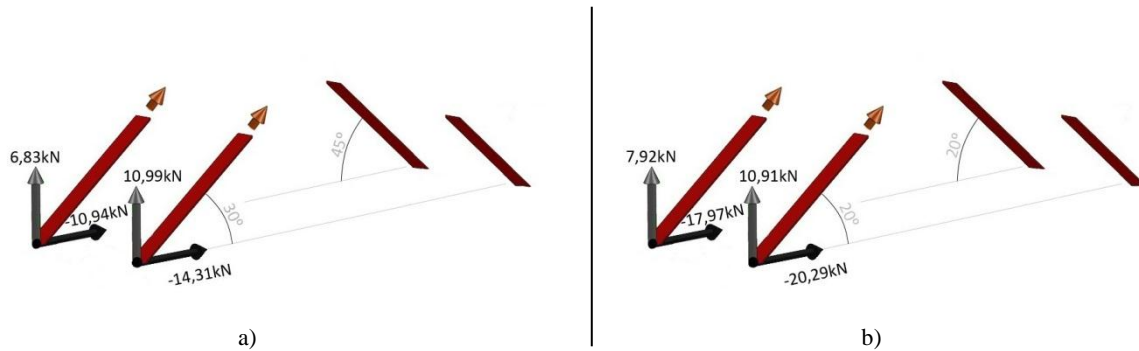


Figura 4.9 – Cargas a aplicar na primeira parte do estudo, ou seja, no momento do impacto da viatura: a) em cadeiras de rodas manuais utilizando cinto de segurança do lado esquerdo; b) em cadeiras de rodas elétricas utilizando cinto de segurança do lado esquerdo.

- Cargas a aplicar na segunda parte do estudo (momento de recuperação do impacto) para cadeiras manuais e cadeiras elétricas:

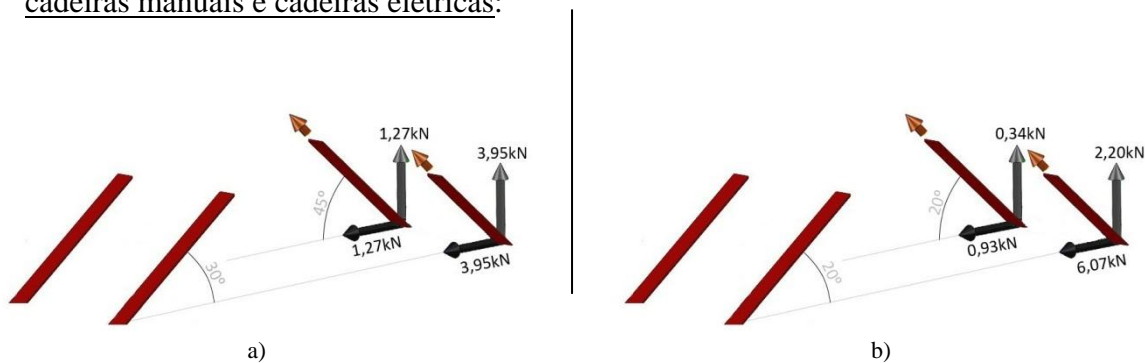


Figura 4.10 – Cargas a aplicar na segunda parte do estudo, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura: a) em cadeiras de rodas manuais utilizando cinto de segurança do lado esquerdo; b) em cadeiras de rodas elétricas utilizando cinto de segurança do lado esquerdo.

Foi também considerado o facto de que, as cintas transmitiriam a sua força de tração às calhas de fixação e não à própria estrutura metálica. Sendo assim, a força seria transmitida à estrutura metálica através dos parafusos de fixação das calhas, tendo em alguns casos, ter que se realizar os respetivos cálculos a fim de determinar a força a aplicar em cada ponto da estrutura. Como se verifica, pela figura 4.11, em cada zona de fixação das cintas frontais coincide a instalação de um parafuso de aperto, fazendo com que a força proveniente da cinta seja transmitida neste ponto para a estrutura, não havendo necessidade de se realizar cálculos. Já na zona das cintas traseiras, a sua fixação em cada calha apresenta-se a meio de dois parafusos de aperto, devendo então ter que se proceder aos cálculos necessários para determinar a força que será transmitida por cada um à estrutura tubular. As distâncias entre pontos de fixação foram tomadas como referência da tabela 4.6, tendo sido também consideradas as medidas reais da estrutura entre tubagens, e os devidos locais destinados a cada cadeira de rodas.

De salientar, que os parafusos a instalar deverão ter capacidade suficiente para resistir a tais forças aplicadas, tendo sido feita a sua seleção e dimensionamento no anexo V. De notar ainda, que devido ao facto dos parafusos serem adequados para trabalhar à tração e não ao corte, estes deverão ter a capacidade de fornecer um aperto de tal grandeza que impeça o deslizamento da calha de alumínio sobre a estrutura, sendo a força no eixo dos z transmitida à estrutura pelo contacto entre superfícies interactuantes e não pelo corte dos parafusos.

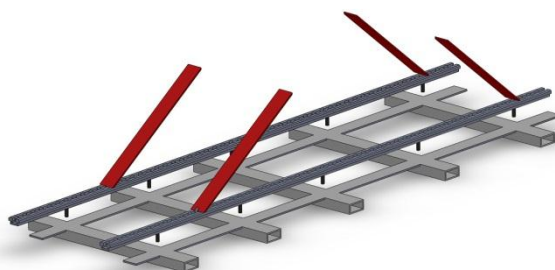


Figura 4.11 – Visualização da coincidência da zona de fixação das cintas às calhas, com as zonas de instalação dos parafusos.

Poderá visualizar-se, pela figura 4.12, a distribuição das cadeiras de rodas que será feita no interior da carrinha, de modo a compreender-se mais facilmente como serão transportadas e fixadas ao piso.

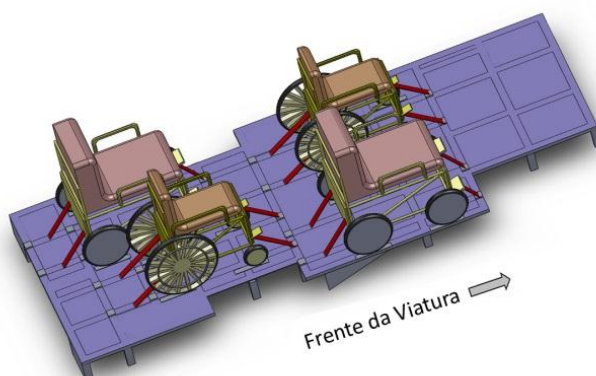


Figura 4.12 – Distribuição das cadeiras de rodas no interior da viatura.

De seguida, na figura 4.13, apresenta-se uma representação das forças transmitidas pelas cintas às calhas de fixação, legendando-se estas de  $F_1$  a  $F_8$ . Estão também representadas pelas letras  $R$  as reações de oposição que o piso terá que oferecer às forças de carregamento, sendo estes os valores que serão aplicados à estrutura metálica com o sentido invertido, de forma a simular as forças de carregamento e não as de reação. Todas as reações, bem como os momentos resultantes da aplicação das cargas nas cintas, foram calculados analiticamente no anexo IV, de onde se obtiveram os valores presentes na tabela 4.8.

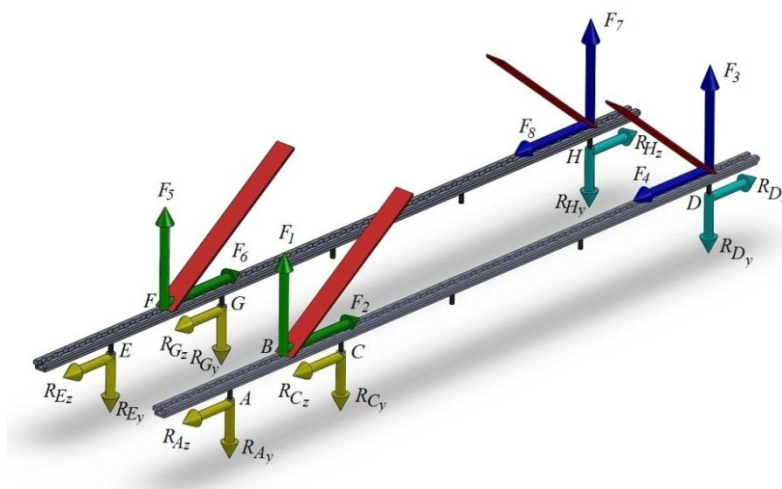


Figura 4.13 – Representação esquemática das forças transmitidas pelas cintas às calhas de fixação e das reações que serão transmitidas à estrutura do piso interior.

Tabela 4.8 – Resumo das forças transmitidas pelas cintas às calhas de fixação, das reações que serão transmitidas à estrutura do piso interior e dos momentos fletores. Adaptado de: (Bermound et al., 2010)

| Ponto de fixação         | Tipo de cadeira de rodas (cinto à esquerda) |          | Força    |
|--------------------------|---|----------|----------|
| Trás / Direito           | Manual                                      | Elétrica | Unidades |
| $F_1$                    | 10,99                                       | 10,91    | [kN]     |
| $F_2$                    | -14,31                                      | -20,29   |          |
| $R_{Az}$                 | 7,16  | 10,15    |          |
| $R_{Ay}$                 | -5,49                                       | -5,46    |          |
| $R_{Cz}$                 | 7,16  | 10,15    |          |
| $R_{Cy}$                 | -5,49                                       | -5,46    |          |
| $M_A$                    | 0,48  | 0,48     |          |
| $M_C$                    | 0,48  | 0,48     |          |
| <b>Trás / Esquerdo</b>   |   |          |          |
| $F_5$                    | 6,83  | 7,92     | [kN]     |
| $F_6$                    | -10,94                                      | -17,97   |          |
| $R_{Ez}$                 | 5,47  | 8,99     |          |
| $R_{Ey}$                 | -3,42                                       | -3,96    |          |
| $R_{Gz}$                 | 5,47  | 8,99     |          |
| $R_{Gy}$                 | -3,42                                       | -3,96    |          |
| $M_E$                    | 0,30  | 0,35     | [kN.m]   |
| $M_G$                    | 0,30  | 0,35     |          |
| <b>Frente / Direito</b>  |   |          |          |
| $F_3$                    | 3,95  | 2,20     | [kN]     |
| $F_4$                    | 3,95  | 6,07     |          |
| $R_{Dz}$                 | -3,95                                       | -6,07    |          |
| $R_{Dy}$                 | -3,95                                       | -2,20    |          |
| <b>Frente / Esquerdo</b> |   |          |          |
| $F_7$                    | 1,27  | 0,34     | [kN]     |
| $F_8$                    | 1,27  | 0,93     |          |
| $R_{Hz}$                 | -1,27                                       | -0,93    |          |
| $R_{Hy}$                 | -1,27                                       | -0,34    |          |

Após a representação esquemática das cargas a aplicar na estrutura modelada bem como da determinação dos valores da sua intensidade, serão então definidas em ambos os programas, ANSYS® e SolidWorks®, com o objetivo de verificar como esta se deforma e as tensões a que fica sujeita. A repetição dos estudos nos dois programas permite a comparação de resultados, de modo a verificar a credibilidade dos mesmos.

Refere-se que em ambos os programas foram introduzidas as seguintes características do material:  $E = 210 \times 10^9 Pa$  (*Módulo de Elasticidade*);  $\nu = 0,3$  (*Coefficiente Poisson*).

De seguida apresenta-se a representação da aplicação das cargas em ambos os programas, sendo feita a distinção entre a primeira e a segunda parte do estudo, isto é, do momento precisamente do impacto e do momento de recuperação. Foram também definidos os constrangimentos em todas as trinta “pernas” da estrutura em zero graus de liberdade, não permitindo deslocamentos nem rotações em nenhum dos eixos, simulando assim uma situação de encastramento, que neste caso serão soldaduras realizadas ao chassis da viatura.

- Cargas e constrangimentos aplicados ao piso interior na primeira parte do estudo (momento propriamente do impacto):

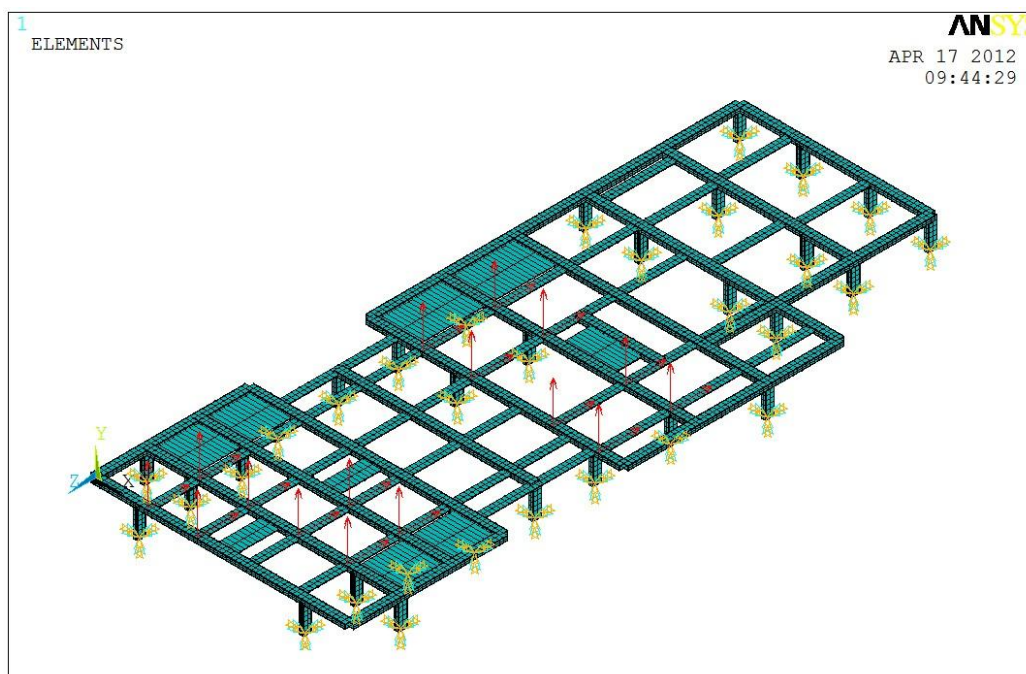


Figura 4.14 – Cargas e constrangimentos aplicados à estrutura na primeira parte do estudo em ANSYS®, ou seja, no momento de impacto da viatura.



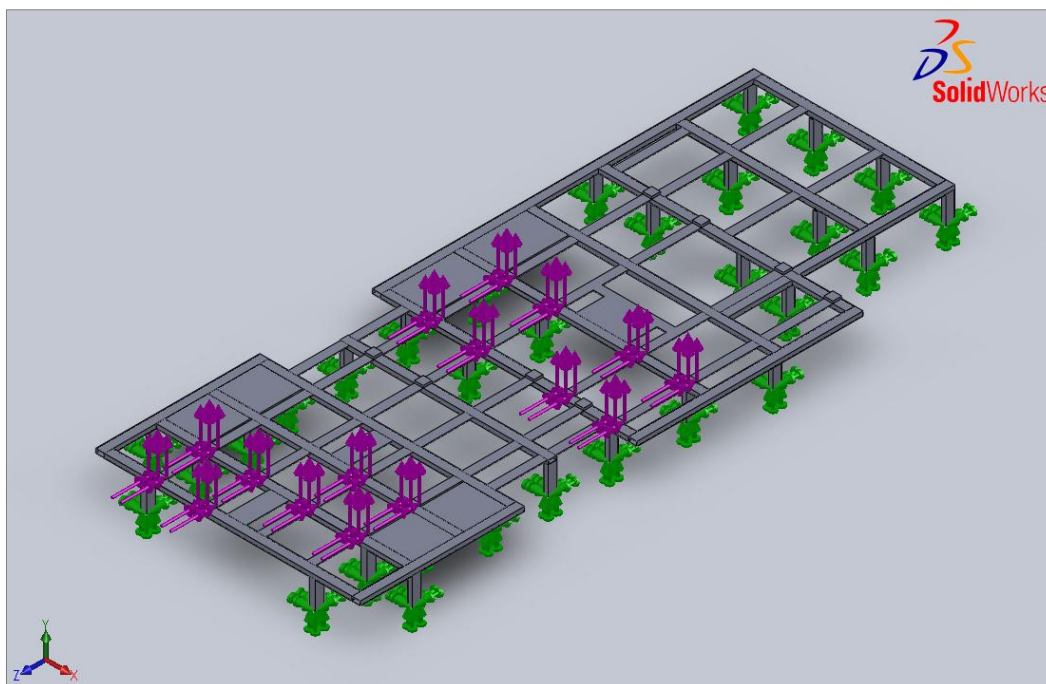


Figura 4.15 – Cargas e constrangimentos aplicados à estrutura na primeira parte do estudo em SolidWorks<sup>®</sup>, ou seja, no momento de impacto da viatura.

- Cargas e constrangimentos aplicados ao piso interior na segunda parte do estudo (momento de recuperação do impacto):

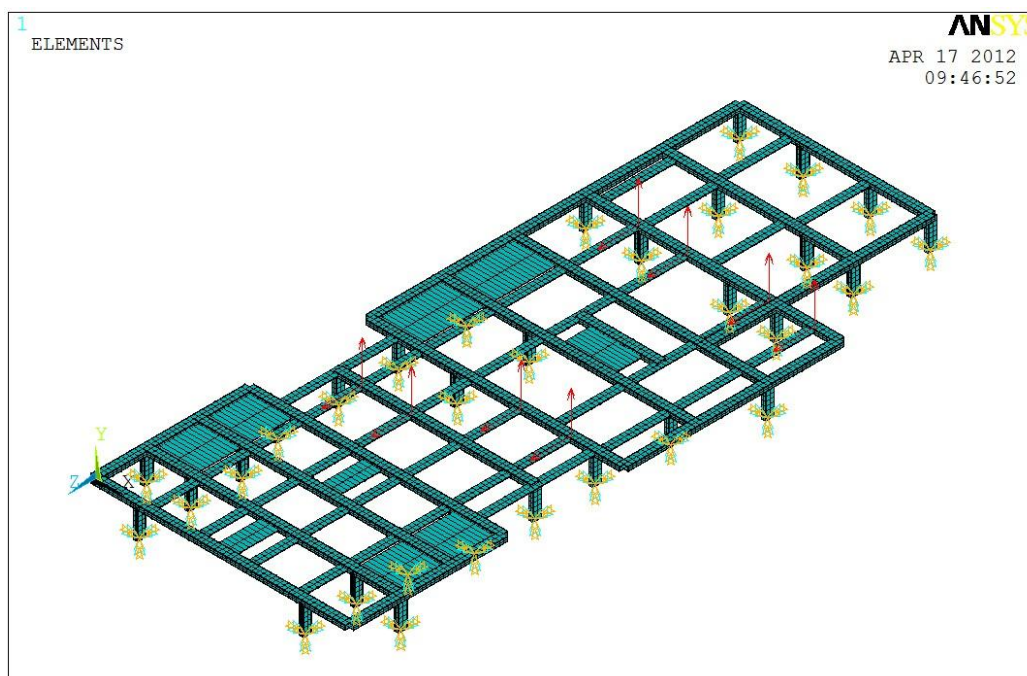


Figura 4.16 – Cargas e constrangimentos aplicados à estrutura na segunda parte do estudo em ANSYS<sup>®</sup>, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura.

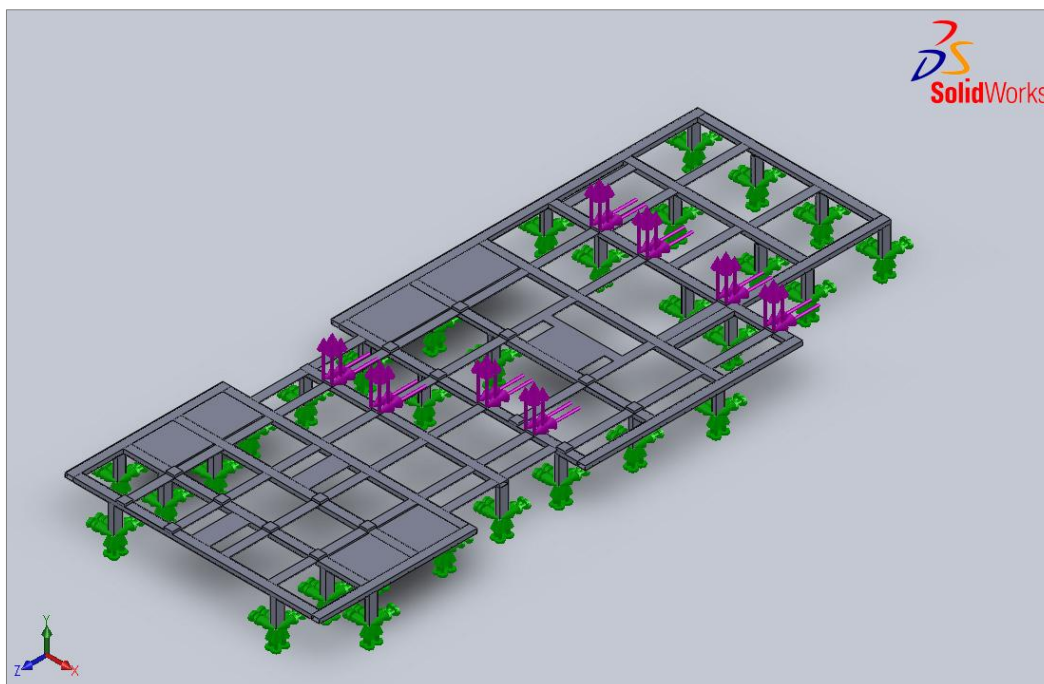


Figura 4.17 – Cargas e constrangimentos aplicados à estrutura na segunda parte do estudo em SolidWorks, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura.

Seguidamente são apresentados os resultados obtidos para a tensão de Von Mises no presente estudo, para ambos os programas informáticos utilizados, sendo a sua análise e comparação realizada posteriormente. Foi utilizada a escala de deformação de 50 em ambos os programas, para obter uma melhor visualização da deformação sofrida pela estrutura.

- Resultados obtidos referentes à primeira parte do estudo (momento propriamente do impacto):

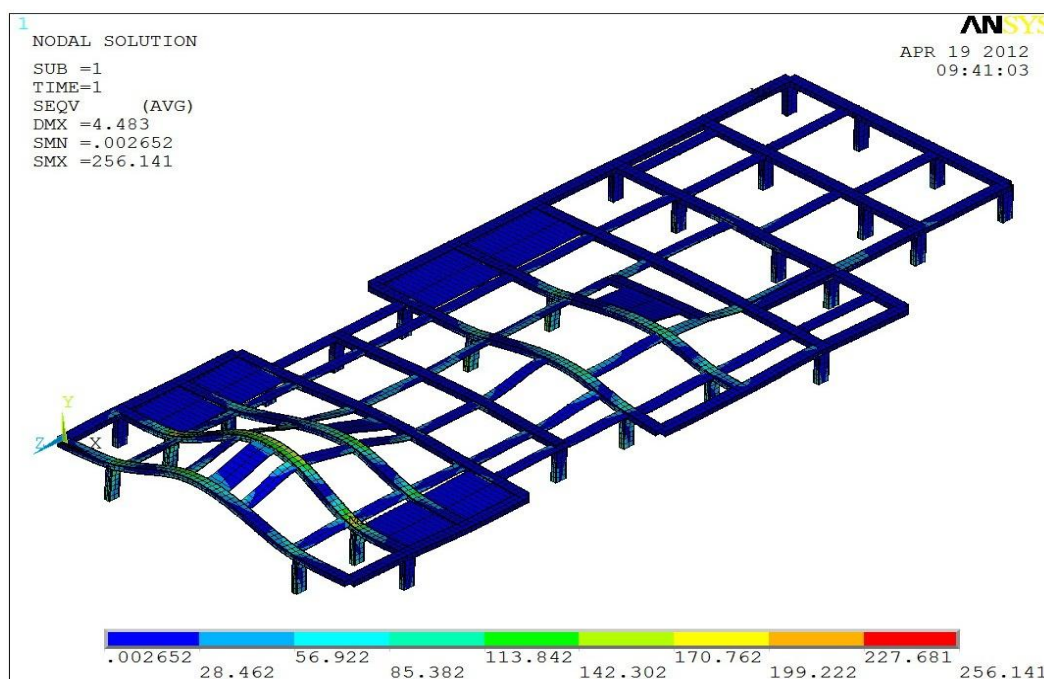


Figura 4.18 – Resultados obtidos na primeira parte do estudo em ANSYS, ou seja, no momento de impacto da viatura.

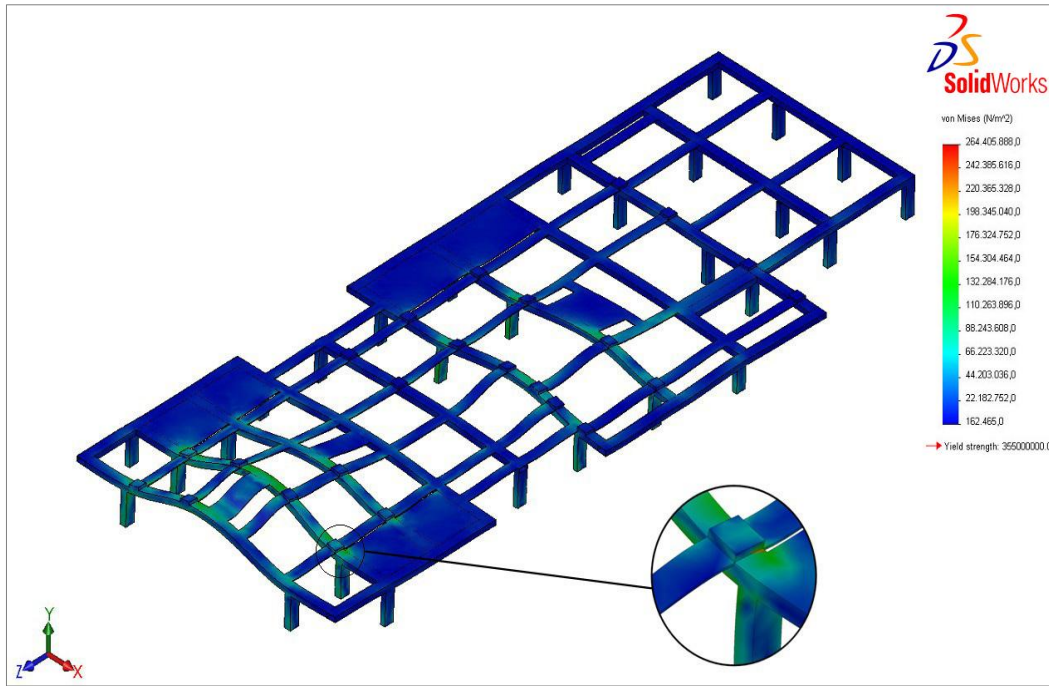


Figura 4.19 – Resultados obtidos na primeira parte do estudo em SolidWorks<sup>®</sup>, ou seja, no momento de impacto da viatura.

▪ Comparação de Resultados:

Tabela 4.9 – Comparação de resultados obtidos na primeira parte do estudo (momento propriamente do impacto)

|                        | Programa ANSYS <sup>®</sup> | Programa SolidWorks <sup>®</sup> |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Tensão Von Mises (MPa) | 256,1                       | 264,4                            |

Por análise dos resultados, observa-se que os valores obtidos em ambos os programas são aproximados, ainda que, o valor alcançado quando se utiliza o programa SolidWorks<sup>®</sup>, seja mais elevado. Isto poderá significar que o resultado apresentado será mais conservativo no que respeita a segurança, sendo este que se irá utilizar para realizar o cálculo do coeficiente de segurança atual de projeto.

Procedendo-se ao cálculo do coeficiente atual de projeto obtém-se:

$$n_{segurança\ atual\ de\ projeto} = \frac{\sigma_{ced}}{\sigma_{Von\ Mises}} = \frac{355}{264,4} \approx 1,34 \quad (4.4)$$



- Resultados obtidos referentes à segunda parte do estudo (momento de recuperação do impacto):

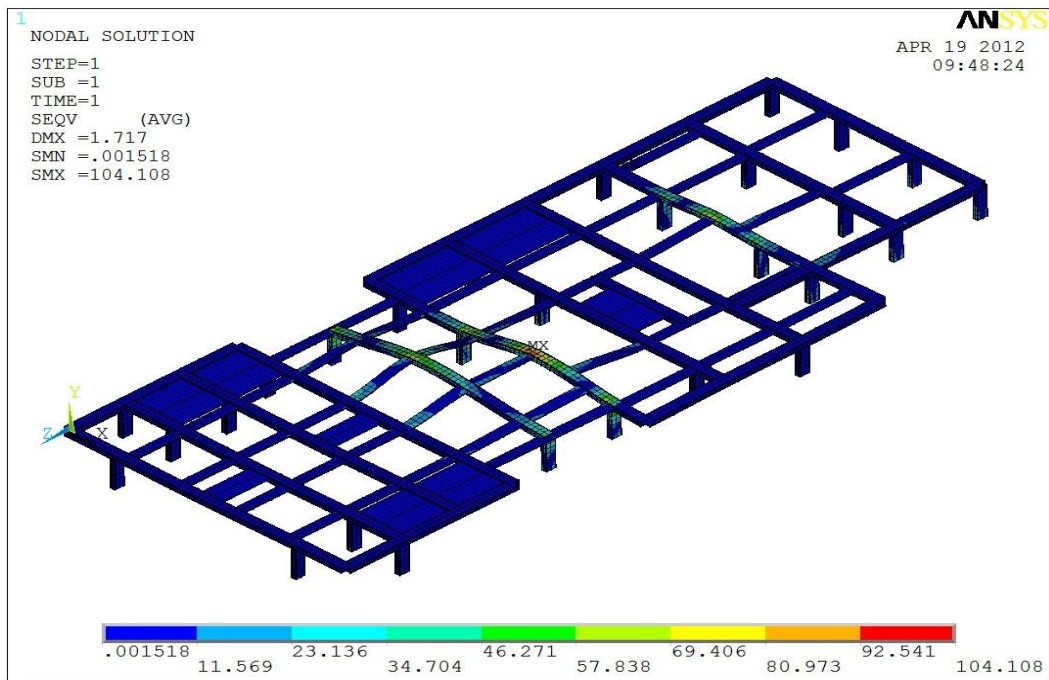


Figura 4.20 – Resultados obtidos na segunda parte do estudo em ANSYS<sup>®</sup>, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura.

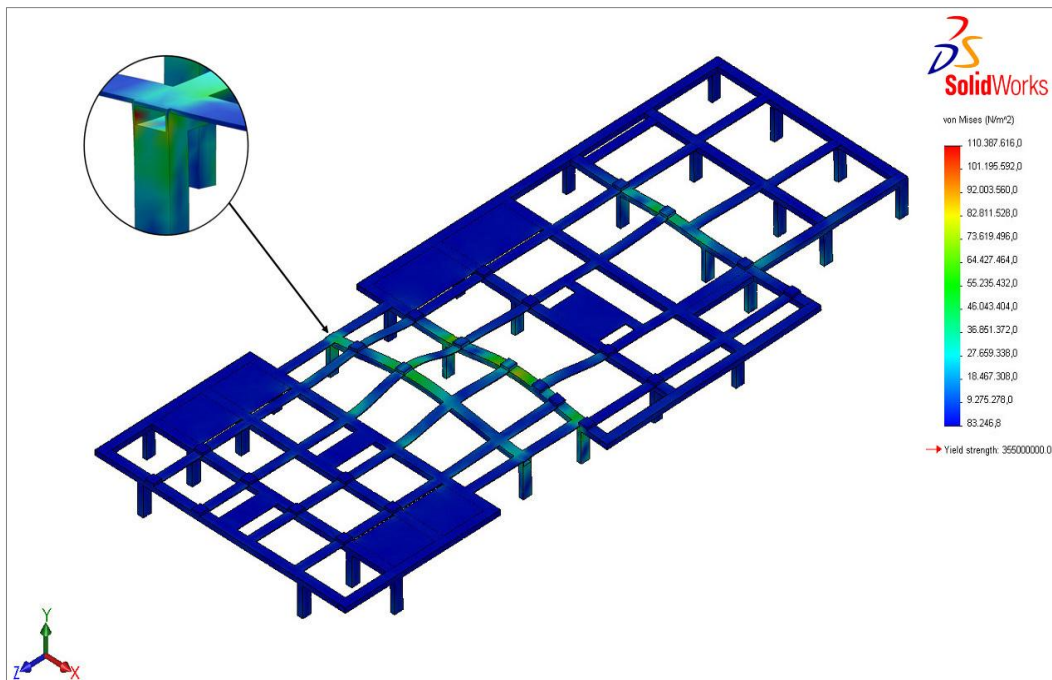


Figura 4.21 – Resultados obtidos na segunda parte do estudo em SolidWorks<sup>®</sup>, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura.

▪ Comparação de Resultados:

Tabela 4.10 – Comparação de resultados obtidos na segunda parte do estudo (momento de recuperação do impacto)

|                        | Programa ANSYS® | Programa SolidWorks® |
|------------------------|-----------------|----------------------|
| Tensão Von Mises (MPa) | 104,1           | 110,4                |

Fazendo-se uma semelhante análise, e verificando-se novamente que o valor para a tensão máxima será mais elevado quando se utiliza o programa SolidWorks®, procedeu-se ao cálculo do coeficiente atual de projeto do mesmo modo, de onde se obtém:

$$n_{seguran\c{c}a\ atual\ de\ projeto} = \frac{\sigma_{ced}}{\sigma_{Von\ Mises}} = \frac{355}{110,4} \approx 3,22 \quad (4.5)$$

Perante ambos os coeficientes de segurança calculados, verifica-se que o primeiro, referente à primeira parte do ensaio tomou um valor inferior a 3, valor que tinha sido definido inicialmente como coeficiente de segurança estimado. Este valor não será preocupante para já, uma vez que se trata de um estudo inicial, onde a estrutura do piso ainda não se encontra totalmente completa, faltando ainda a sua cobertura total superior, parte da inferior e ainda colocação da guia para as tubagens e cabelagens elétricas. Esta cobertura será feita, como referido anteriormente, por chapas com a espessura de 1,5 mm na totalidade da parte superior e numa zona da parte inferior, oferecendo planicidade ao piso e uma maior resistência. Nas figuras seguintes poderá visualizar-se a cobertura superior a cor violeta e a chapa inferior a cor verde, sendo que ambas estão devidamente soldadas à estrutura de tubos. De referir que a cobertura superior é constituída por 4 chapas de 1,5 mm de espessura, a parte inferior por 1 chapa da mesma espessura e a guia por 2 chapas quinadas e soldadas entre si.

Houve o cuidado de se realizar a seleção e aproveitamento da chapa total adquirida, de modo a diminuir o material de sobra, ou seja, desperdício, obtendo-se um aproveitamento de cerca de 92%. Poderão ser consultados todos os cálculos e considerações no anexo VI.

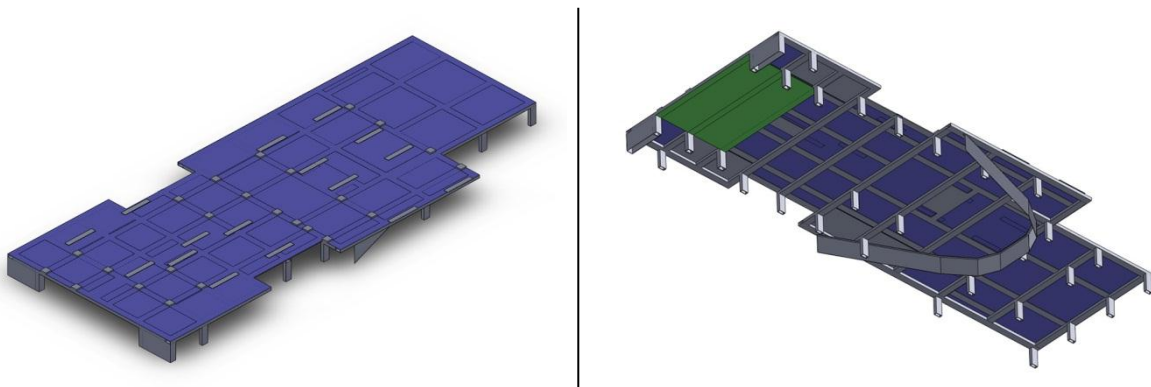


Figura 4.22 – Representação da cobertura superior a cor violeta, parte da inferior a cor verde, e das chapas guia das tubagens e cabelagens elétricas a cinza.

Os estudos que revelarão este aumento de resistência serão efetuados e apresentados, de modo a recolher a informação necessária para realizar o cálculo de um correto coeficiente atual de projeto.

Notar ainda que a malha utilizada em ambos os programas, para todos os estudos, foi adaptada de modo a obter valores mais corretos. A malha foi refinada e reajustada de modo a reduzir possíveis erros provenientes de zonas de concentração de tensões.

#### **4.5.4.2. Estudo melhorado à estrutura**

Com o objetivo de se calcular o correto coeficiente atual de projeto relativo à estrutura do piso interior, o modelo construído em SolidWorks® foi alterado, isto é, completo com as chapas de cobertura em falta, de modo a ficar o mais semelhante possível com o construído verdadeiramente. Esta alteração foi realizada apenas em SolidWorks®, uma vez que a semelhança nos resultados obtidos, com o programa ANSYS®, tem sido uma constante até ao momento. Outro dos fatores considerados para utilizar apenas o SolidWorks® foi a maior facilidade e simplicidade de modelação, permitindo introduzir as chapas diretamente sem ter que efetuar muitas alterações ao modelo anterior.

Neste estudo, ao contrário do estudo inicial, serão considerados os pesos das cadeiras de rodas bem como dos seus ocupantes, visto haver já uma superfície lisa (chapa superior de 1,5 mm de espessura) onde os permite aplicar. Os valores dos pesos associados às cadeiras de rodas e aos ocupantes encontram-se apresentados nas tabelas 4.4 e 4.5, correspondendo as cargas a vermelho ao peso das cadeiras de rodas manuais e a cor de laranja ao peso das cadeiras de rodas elétricas. A cor violeta e a cor verde representam-se, respetivamente, as cargas das cintas de segurança e dos constrangimentos da estrutura, como acontecia no estudo inicial.

- Cargas e constrangimentos aplicados ao piso interior na primeira parte do estudo (momento propriamente do impacto):

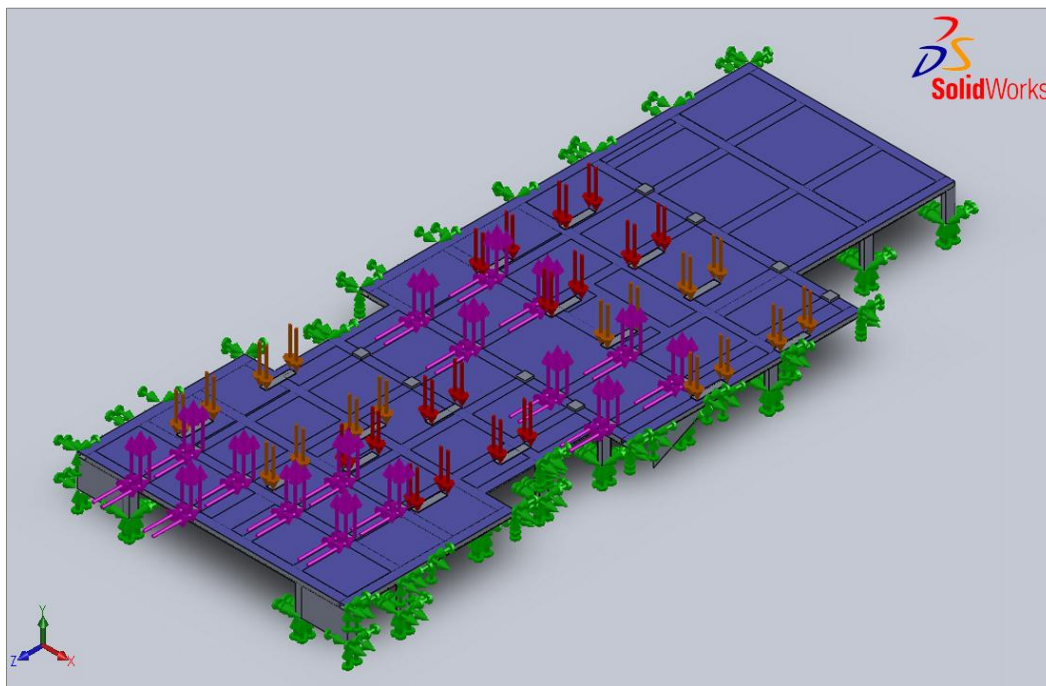


Figura 4.23 – Representação de todas as cargas e constrangimentos aplicados ao piso na primeira parte do estudo, ou seja, no momento de impacto da viatura.

- Cargas e constrangimentos aplicados ao piso interior na segunda parte do estudo (momento de recuperação do impacto):

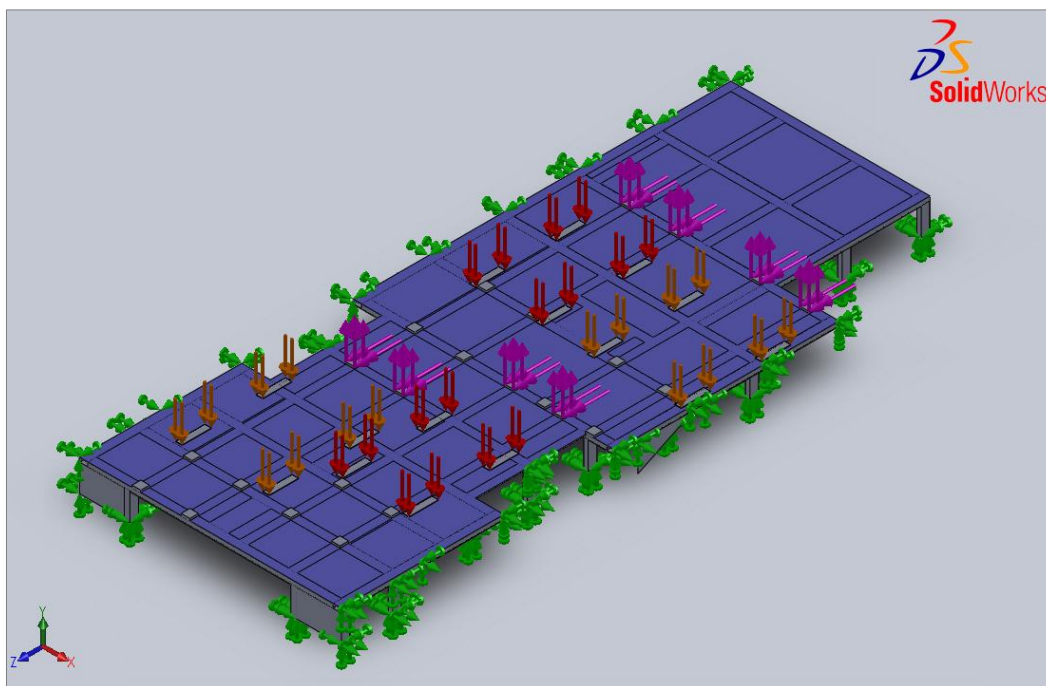


Figura 4.24 – Representação de todas as cargas e constrangimentos aplicados ao piso na segunda parte do estudo, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura.

Seguidamente são apresentados os resultados obtidos para as tensões de Von Mises no estudo melhorado à estrutura, sendo a sua análise e comparação realizada posteriormente.

- Resultados obtidos referentes à primeira parte do estudo (momento propriamente do impacto):

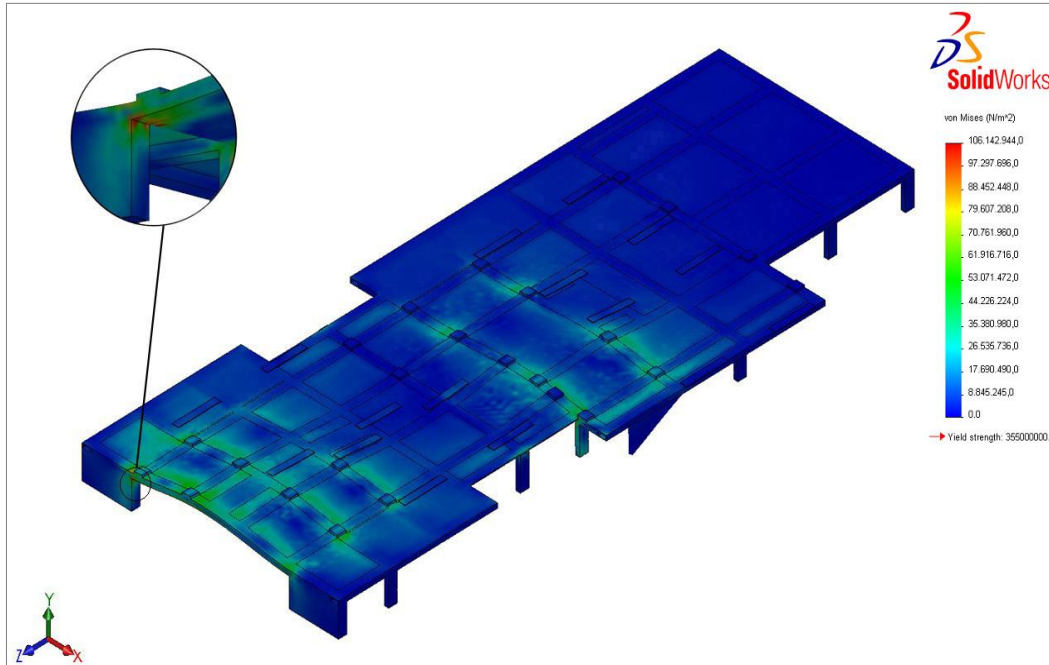


Figura 4.25 – Resultado da tensão de Von Mises obtida na primeira parte do estudo em SolidWorks, ou seja, no momento de impacto da viatura.

- Resultados obtidos referentes à segunda parte do estudo (momento de recuperação do impacto da viatura):

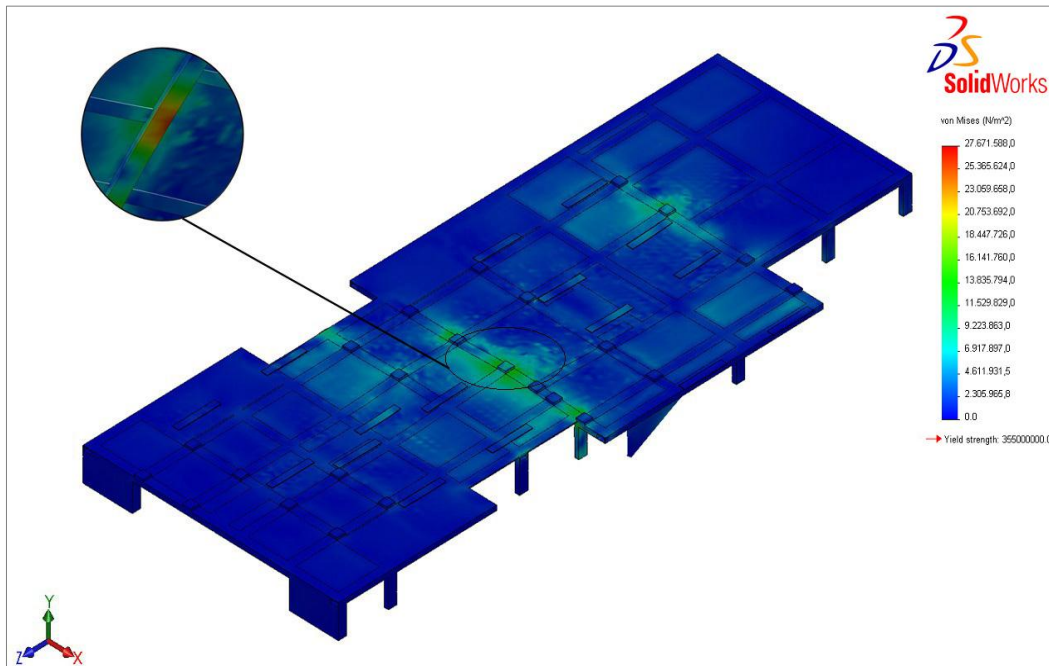


Figura 4.26 – Resultado da tensão de Von Mises obtida na segunda parte do estudo em SolidWorks, ou seja, no momento de recuperação do impacto da viatura.



Pode-se então constatar que as tensões de Von Mises obtidas foram de aproximadamente 106,1 MPa para a primeira parte do ensaio e 27,7 MPa para a segunda parte.

Procedendo-se ao cálculo dos coeficientes atuais de projeto para ambas as partes obtém-se:

$$n_{segurança\ atual\ de\ projeto} = \frac{\sigma_{ced}}{\sigma_{Von\ Mises}} = \frac{355}{106,1} \approx 3,35 \quad (4.6)$$

$$n_{segurança\ atual\ de\ projeto} = \frac{\sigma_{ced}}{\sigma_{Von\ Mises}} = \frac{355}{27,7} \approx 12,82 \quad (4.7)$$

Verifica-se então, que para a primeira parte do estudo, ou seja, o momento propriamente da colisão (onde ocorre a aplicação de cargas mais severas), se obteve um valor para o coeficiente atual de projeto superior ao coeficiente estimado de 3, tomando o valor de 3,35. Este valor estará assim em conformidade com a estimativa inicial que se realizou.

Denota-se que os valores de ambos os coeficientes de segurança aumentaram, em relação aos do estudo inicial, devendo-se essa variação ao aumento de resistência suportada pela estrutura, aquando instaladas as chapas de cobertura. Os pesos provenientes das cadeiras de rodas, bem como dos seus ocupantes também contribuíram para esse aumento, do ponto de vista que apresentam sentido inverso às cargas transmitidas verticalmente ao piso, pelas cintas, anulando-as em parte.

Conclui-se assim que a estrutura construída para o piso interior responde ao requerido, cumprindo com o coeficiente de segurança estimado inicialmente. Verifica-se então que o piso foi bem dimensionado, oferecendo segurança aos utilizadores em caso de colisão frontal da viatura.

Quanto à seleção e dimensionamento dos parafusos de fixação das calhas também se verificou conformidade, obtendo-se valores superiores a três, para a verificação ao escorregamento entre superfícies e à resistência dos parafusos à tração, conforme pode ser consultado no anexo V.

Nas figuras 4.27 e 4.28 são apresentadas algumas fotografias obtidas nas instalações da Auto Ribeiro Lda., com a sua gentil autorização, onde se pode visualizar a instalação da estrutura do piso interior estudada neste capítulo. De salientar que, em algumas das fotografias, é visível também a instalação da plataforma elevatória do tipo gaveta, comprovando-se deste modo a sua utilização e implementação.



a)



b)

Figura 4.27 – Piso interior desenvolvido para a viatura. a) Vista traseira; b) Porta lateral, (Fotografia obtida em: Instalações da Auto Ribeiro Lda.).



a)



b)

Figura 4.28 – Plataforma elevatória instalada. a) Vista traseira da viatura; b) Detalhe da ranhura para entrada da plataforma, (Fotografia obtida em: Instalações da Auto Ribeiro Lda.).





# CAPÍTULO 5

## CONCLUSÕES GERAIS e TRABALHO FUTURO

### 5.1. Conclusões Gerais

Neste trabalho foi-me concedida a possibilidade de seguir de perto toda a transformação da viatura, para obtenção da informação e dados de construção que foram fundamentais para a realização dos estudos, cálculos e dimensionamento óleo-hidráulico. De notar que, alguma da informação recolhida não pôde ser revelada ao longo do trabalho, por questões de confidencialidade da própria empresa transformadora.

O objetivo principal deste trabalho de projeto foi atingido, tendo-se estudado e desenvolvido uma viatura ligeira para transporte de deficientes motores, a qual se encontra já em funcionamento nos serviços da C.M.L..

Em jeito de conclusão, na realização deste trabalho de projeto conseguiu-se verificar e atingir todos os pontos que eram objetivos à partida. A participação na elaboração do caderno de encargos com os requisitos fundamentais; O acompanhamento da adaptação e implementação da plataforma do tipo gaveta, de modo a respeitar com os requisitos impostos; O dimensionamento do circuito óleo-hidráulico a instalar na estrutura da plataforma elevatória construída, tendo sido conseguida a sua compatibilidade de adaptação; A realização dos circuitos óleo-hidráulico, de potência e elétrico em Automation Studio<sup>®</sup>, de modo a tornar possível a simulação do funcionamento do sistema de elevação; A organização da lotação no interior da viatura, de modo a obter a arrumação desejada pela C.M.L. e oferecer uma total comodidade e segurança aos utilizadores; A realização de estudos ao piso interior do piso desenvolvido, verificando-se o cumprimento dos requisitos de segurança (Foram realizados estudos de simulação de impacto da viatura, tendo sido verificada a resistência da estrutura); O dimensionamento e verificação dos parafusos de fixação das calhas ao piso interior da

viatura; A verificação do máximo aproveitamento da chapa de cobertura superior, inferior e lateral do piso interior da viatura.

Por último foi realizada, com a minha participação, a verificação de todos os requisitos especificados ao construtor e transformador da viatura, para deteção de anomalias e avarias suscetíveis de alteração ou correção, à receção da viatura nas instalações da C.M.L..

## **5.2. Principais Problemas ou Dificuldades**

Neste trabalho o ponto que levou mais tempo a concretizar foi toda a parte da construção do piso interior nos programas informáticos, visto terem que se realizar várias considerações e alterações que iam sendo necessárias efetuar à estrutura. Também a aplicação de toda a informação recolhida sobre os estudos de impacto, nos programas de simulação, levou um tempo considerável, surgindo algumas dificuldades e erros nesses mesmos programas, os quais foram completamente corrigidos.

Outra das dificuldades iniciais foram as deslocações ao norte, visto que a empresa Auto Ribeiro Lda. se situa em Vila Nova de Gaia, tendo eu que me deslocar muitas vezes para realizar um assíduo acompanhamento da viatura. Outro dos meus locais de trabalho foram as instalações da C.M.L. e a faculdade, tendo todas essas deslocações que ser organizadas convenientemente. Essa dificuldade foi ultrapassada após toda a recolha de informação nas instalações da C.M.L., mudando-me algum tempo para o Porto, onde permaneci para acompanhar de perto a viatura com mais tempo.

## **5.3. Resultados obtidos e verificação de receção**

Como fruto de todo o trabalho desenvolvido, foi concluída a adaptação da viatura, tendo sido realizada a sua entrega nas instalações da C.M.L., onde se encontra em funcionamento à presente data.

No momento da entrega da viatura modificada foi feita toda a verificação dos requisitos impostos no caderno de encargos, na qual tive a oportunidade de participar ativamente, podendo conferir e dar a minha opinião de aprovação para aceitação da viatura.

À data de receção foram detetadas três anomalias, não sendo estas de elevada gravidade, enunciando-se de seguida cada uma delas:

- Falta da terminação em rampa das calhas de fixação, como tinha sido requerido, para facilitar a limpeza das mesmas.
- Inexistência de 2 batentes em borracha no piso interior, para a plataforma traseira encostar quando se encontra totalmente elevada, de modo a não danificar/desgastar a cobertura antiderrapante do piso (ponto não especificado no caderno de encargos, mas necessário para um correto funcionamento e maior durabilidade do sistema).
- Verificou-se a instalação de chapas nas costas dos bancos traseiros, as quais poderiam vir a provocar ferimentos aos passageiros em caso de embarramento, notando-se contudo que seriam benéficas do ponto de vista, em que, ofereceriam maior resistência e durabilidade, aos pequenos embates das cadeiras de rodas na entrada e saída da viatura.

De todos os pontos, os dois primeiros seriam alvo de correção, ficando o terceiro ponto em experimentação durante cerca de 15 dias nos serviços da C.M.L..

Em conclusão, foram corrigidos apenas os 2 primeiros casos, visto se verificar que as chapas dos bancos seriam benéficas e não ofereceriam perigo aos ocupantes. As correções a realizar foram assumidas pela empresa Auto Ribeiro Lda. sem qualquer problema, verificando-se à corrente data, todas as anomalias resolvidas.

De seguida, apresentam-se algumas fotografias da viatura desenvolvida, completamente pronta para desempenhar as suas funções:

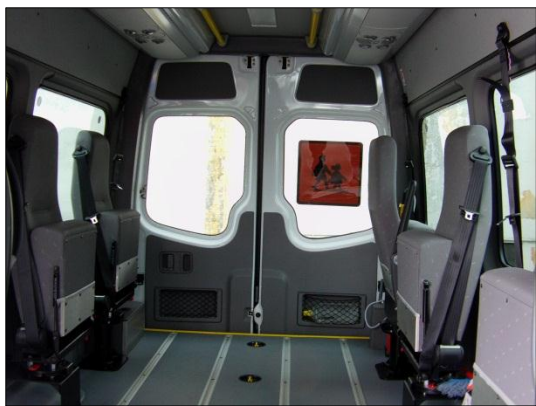


a)



b)

Figura 5.1 – Viatura completamente adaptada, pronta para circular. a) Vista exterior; b) Porta lateral, (Fotografia obtida em: Instalações da C.M.L.).



a)



b)

Figura 5.2 – Interior da viatura transformada. a) Vista de frente; b) Vista traseira, (Fotografia obtida em: Instalações da C.M.L.).

#### **5.4. Trabalho Futuro**

Como trabalho futuro e em continuação deste trabalho, poderia ser estudada e desenvolvida toda a estrutura do piso interior num material mais leve, como exemplo o Alumínio, verificando-se também as vantagens e desvantagens que este ofereceria. Como sugestão, verificar a aplicabilidade de chapas de Alumínio sobre a estrutura e definir onde seria necessário colocar reforços para fixação dos bancos e cintos de segurança.

Outro ponto que poderá ser estudado e aprofundado, de modo a aplicar-se futuramente, será a instalação de um piso móvel no interior da viatura (placa de absorção de choque), procedendo-se ao seu dimensionamento e ensaios.

Poderão também ser realizados estudos à estrutura com outros programas de simulação, de modo a determinar se existem melhores métodos e a comparar os resultados com os já obtidos.

Outro dos pontos que poderá ser desenvolvido será o estudo da resistência da estrutura do piso a colisões da viatura, para o caso em que os passageiros viajem nos assentos em vez de utilizarem cadeiras de rodas, uma vez que os pontos de fixação e aplicação de cargas serão diferentes.

Por último, poderá ser efetuado um acompanhamento da viatura desenvolvida durante algum tempo, no seu horário de funcionamento, para verificação de todas as suas funcionalidades e recolha de informações relevantes para uma constante melhoria de viaturas.

## BIBLIOGRAFIA

ASME VIII-1. (2010). *ASME Boiler & Pressure Vessel Code - Rules for Construction of Pressure Vessels, VIII, Division 1*. American Society of Mechanical Engineers.

AutoRibeiro. (2012). *História da Empresa*. Obtido em 2 de março de 2012, de Web site de AutoRibeiro indústria de transformação: <http://www.autoribeiro.pt/pt/home.php>

Balandin, D. V., Bolotnik, N. N., Pilkey, W. D., Purtsezov, S. V., & Shaw, C. G. (2008). Concept of a platform-based impact isolation system for protection of wheelchair occupants from injuries in vehicle crashes. *Medical Engineering & Physics, Vol.30*, pp. 258-267.

Barraqueiro Transportes. (2012). Obtido em 27 de janeiro de 2012, de Web site de Barraqueiro Transportes: [http://www.barraqueirotransportes.pt/btransportes/servicos\\_publico.asp](http://www.barraqueirotransportes.pt/btransportes/servicos_publico.asp)

Bermond, F., Attali, X., Dolivet, C. (2012). Floor anchorage load and safety space for adult wheelchair users during a crash. *Elsevier Masson, IRBM*, pp. 289-298.

Bettencourt, A. S. (2005). *Guia do Jovem com Deficiência*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa - Divisão de Apoio Juvenil.

Budynas-Nisbett. (2006). *Shigley's Mechanical Engineering Design, Eighth Edition*. McGraw-Hill, ISBN 0-390-76487-6.

Carris. (2012). Obtido em 27 de janeiro de 2012, de Web site da Carris: <http://www.carris.pt/pt/mobilidade-reduzida/>

Censos. (2001). *Censos*. Obtido em 22 de dezembro de 2011, de Web site de INE: [http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_indicador&contexto=ind&indOcorrCod=0000661&selTab=tab10](http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_indicador&contexto=ind&indOcorrCod=0000661&selTab=tab10)

Charana, A. (1994). *Uma Política Coerente para a Realibitação das Pessoas com Deficiência - Conselho da Europa, Caderno SNR n.º1*. Lisboa: Secretariado Nacional para a Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência.

CML. (2012). *Programa de Apoio à Mobilidade*. Obtido em 2 de fevereiro de 2012, de Web site de Câmara Municipal de Lisboa: <http://www.cm-lisboa.pt/?idc=313&idi=32761>

CM-Lisboa. (2004). *Edital n.º29/2004, Regulamento para a Promoção da Acessibilidade e Mobilidade Pedonal*. Obtido em 19 de fevereiro de 2012, de Web site de Câmara Municipal de Lisboa: [http://www.cm-lisboa.pt/docs/ficheiros/Reg10\\_086.html](http://www.cm-lisboa.pt/docs/ficheiros/Reg10_086.html)

CMLisboa. (2012). *Projecto de transporte escolar adaptado*. Obtido em 2 de fevereiro de 2012, de Web site de Câmara Municipal de Lisboa: <http://www.cm-lisboa.pt/?idc=42&idi=33386>

Department for International Development. (2004). *Overseas Road Note 21 - Enhancing the mobility of disabled people: Guidelines for practitioners*. London: TRL Limited.

Despacho n.º 18406/2004. (2004). *Ministério das obras públicas, transportes e comunicações, II série, de 1 de setembro*. Direcção Geral de Transportes Terrestres.

Diário da República N.º 103. (2008). *Presidência do Concelho de Ministros - Resolução do Conselho de Ministros n.º 88/2008, DR 1.ª série - N.º 103 - 29 de maio de 2008*.

Diário da República N.º 165. (2006). *Proíbe e pune a discriminação em razão da deficiência e da existência de risco agravado de saúde, Lei n.º 46/2006, DR 1.ª série - N.º 165 - 28 de agosto de 2006*.

Diário da República N.º 194. (2004). *Bases gerais do regime jurídico da prevenção, habilitação, reabilitação e participação da pessoa com deficiência, Lei n.º 38/2004, DR 1.ª série - N.º 194 - 18 de agosto de 2004*.

Diário da República N.º 67. (2004). *Decreto-Lei n.º 58/2004, DR 1.ª série - N.º 67 - 19 de março de 2004*. Ministério da Administração Interna.

Diário da República N.º 75. (2006). *Transporte colectivo de crianças, Lei n.º 13/2006, DR 1.ª série - N.º 75 - 17 de abril de 2006*.

Diário da República N.º 9. (1982). *Presidência do Conselho de Ministros e Ministério dos Assuntos Sociais, Portaria n.º 24/82, DR 1.ª série - N.º 9 - 12 de janeiro de 1982*.

EN ISO 9999. (2007). *Classificação Internacional de Ajudas Técnicas*.

Götz, W. (1991). *Hidráulica. Teoria e aplicações. Da Bosch*. Alemanha: BOSCH.

INR. (2012). Obtido em 23 de janeiro de 2012, de Web site de Instituto Nacional para a Reabilitação: <http://www.inr.pt/content/1/75/transportes-publicos>

INReabilitação. (2012). *Plano Nacional de Promoção da Acessibilidade*. Obtido em 4 de fevereiro de 2012, de Web site de Instituto Nacional para a Reabilitação: <http://www.inr.pt/uploads/docs/acessibilidade/PNPA.rtf>

ISO 10542-2. (2001). *Technical systems and aids for disabled or handicapped persons - Wheelchair tiedown and occupant-restraint systems - Part 2*. International Organization for Standardization.

ISO 10542-5. (2004). *Technical systems and aids for disabled or handicapped persons - Wheelchair or handicapped persons - Wheelchair systems - Part 5*. International Organization for Standardization.

Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. (2006). *1º Plano de Acção para a Integração das Pessoas com Deficiências ou Incapacidades*. Lisboa: ISBN 972-99746-3-2.

Norton, R. L. (2000). *Projeto de Máquinas - Uma abordagem integrada - 2ª Edição*. São Paulo: ARTMED Editora S.A., ISBN 0-13-017706-7.

Oxley, P. R., & Richards, M. J. (1995). Disability and transport - A review of the personal costs of disability in relation to transport. *Transport Policy, Vol.2, No.1*, pp. 57-65.

Portugal Acessível. (2012). Obtido em 24 de janeiro de 2011, de Web site de Portugal Acessível: <http://www.portugalaccessivel.com/guide/view-transport/10>

Rexroth Bosch Group. (2010). *Compact power modules*. Bosch Rexroth Oil Control S.p.a., RE 18306-01/04.10.

SAE J2249. (1999). *Guideline - Wheelchair Tiedown and Occupant Restraint Systems*.

Schneider, L. W., Klinich, K. D., Moore, J. L., & MacWilliams, J. B. (2010). Using in-depth investigations to identify transportation safety issues for wheelchair-seated occupants of motor vehicles. *Medical Engineering & Physics, Vol.32*, pp. 237-247.

Serway, R., & Jewett, J. (2004). *Physics for Scientists and Engineers - 6th Edition*. Thomson Brooks/Cole, ISBN 0534408427.

Shaw, G. (2000). Wheelchair rider risk in motor vehicles: A technical note. *Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol.37, No.1, Department of Veterans Affairs*, pp. 89-100.

The Hong Kong Special Administrative Region. (2002). *General Specification for Lift, Escalator and Passenger Conveyor Installation in Government Buildings of the Hong Kong Special Administrative Region*. Building Services Branch Architectural Services Department.

VanRoosmalen, L., Bertocci, G. E., Ha, D., & Karg, P. (2001). Wheelchair integrated occupant restraints: feasibility in frontal impact. *Medical Engineering & Physics, Vol.23*, pp. 687-698.

Wretstrand, A., Petzäll, J., & Ståhl, A. (2004). Safety as perceived by wheelchair-seated passengers in special transportation services. *Accident Analysis and Prevention, Vol.36*, pp. 3-11.



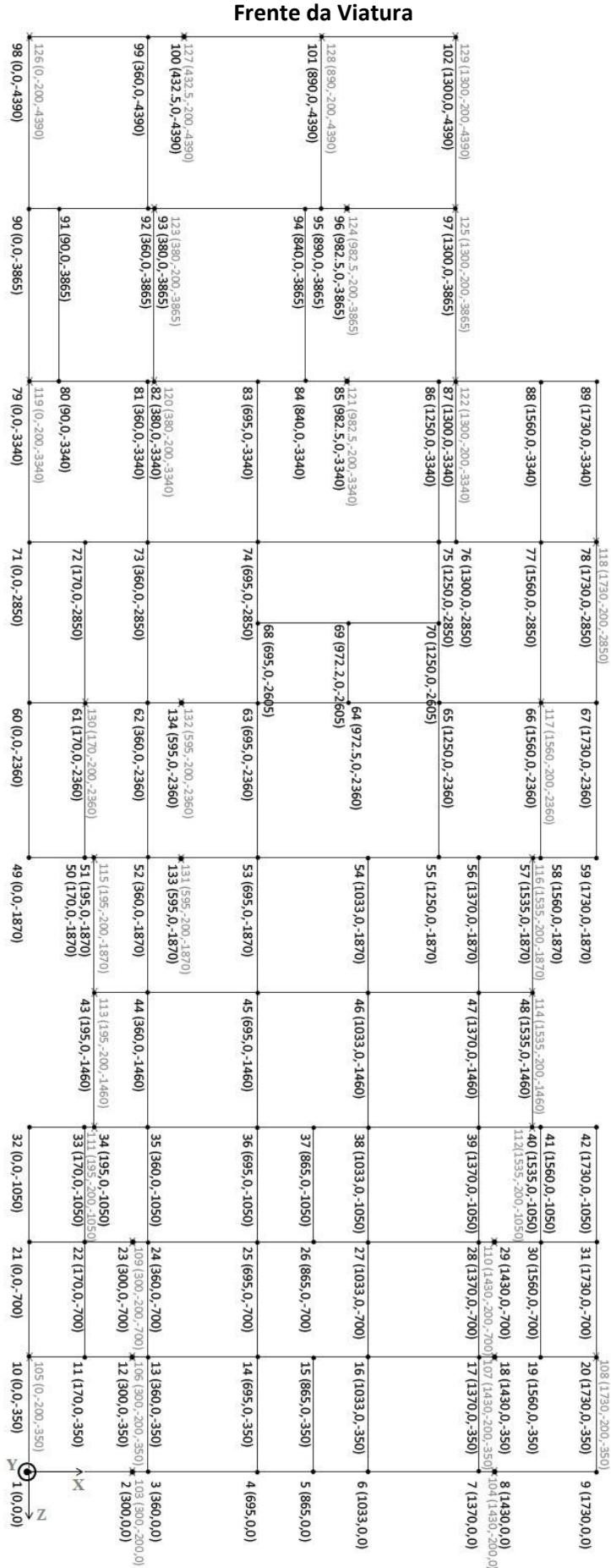


# **ANEXO I**

## **REPRESENTAÇÃO DE KEYPOINTS UTILIZADOS NO PROGRAMA ANSYS® E SUAS COORDENADAS**

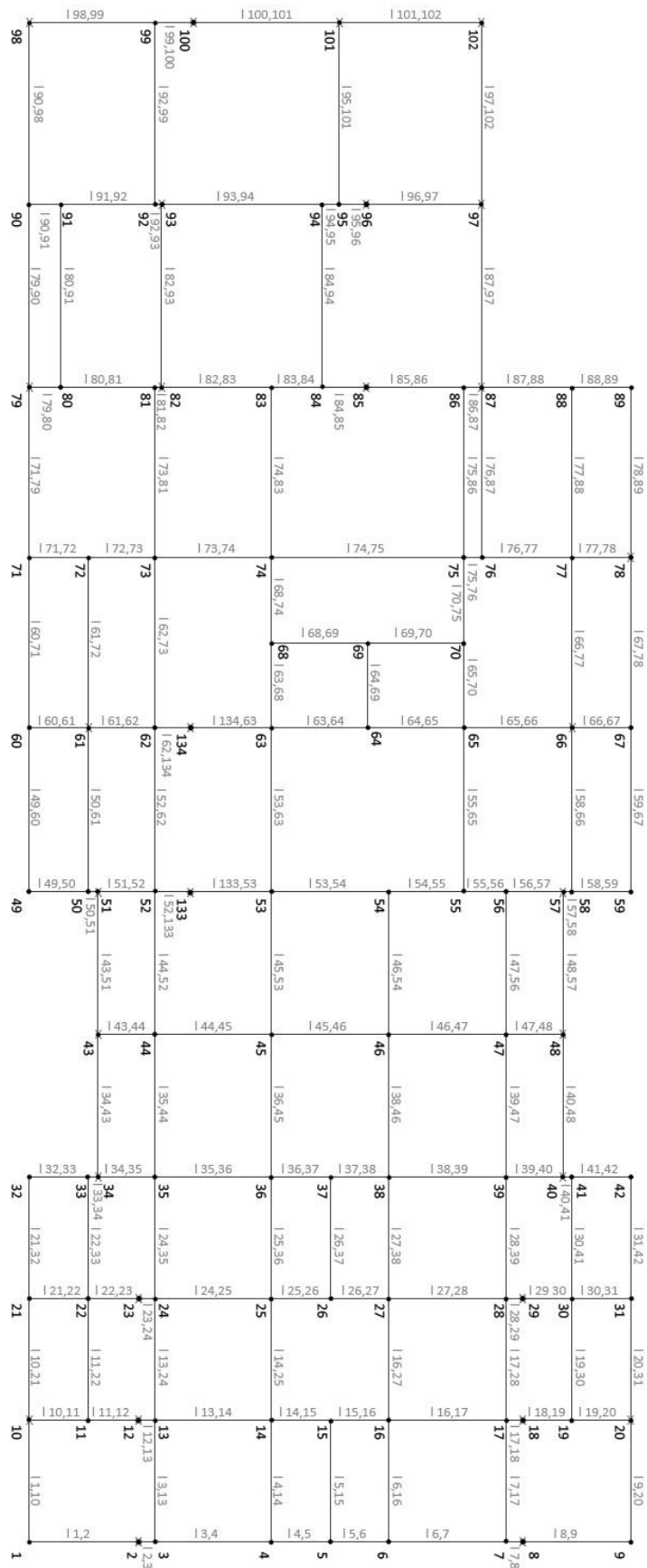


Representação das coordenadas de todos os pontos da estrutura:



Representação de pontos e linhas da estrutura:

Frente da Viatura



## Lista de todos os pontos da estrutura e suas coordenadas:

| <b>Marcações feitas com pontos a negro</b> |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Ponto                                      | Coordenada X | Coordenada Y | Coordenada Z |
| 1  | 0            | 0            | 0            |
| 2  | 300          | 0            | 0            |
| 3  | 360          | 0            | 0            |
| 4  | 695          | 0            | 0            |
| 5  | 865          | 0            | 0            |
| 6  | 1035         | 0            | 0            |
| 7  | 1370         | 0            | 0            |
| 8  | 1430         | 0            | 0            |
| 9  | 1730         | 0            | 0            |
| 10   | 0            | 0            | -350         |
| 11   | 170          | 0            | -350         |
| 12   | 300          | 0            | -350         |
| 13   | 360          | 0            | -350         |
| 14   | 695          | 0            | -350         |
| 15   | 865          | 0            | -350         |
| 16   | 1033         | 0            | -350         |
| 17   | 1370         | 0            | -350         |
| 18   | 1430         | 0            | -350         |
| 19   | 1560         | 0            | -350         |
| 20   | 1730         | 0            | -350         |
| 21   | 0            | 0            | -700         |
| 22   | 170          | 0            | -700         |
| 23   | 300          | 0            | -700         |
| 24   | 360          | 0            | -700         |
| 25   | 695          | 0            | -700         |
| 26   | 865          | 0            | -700         |
| 27   | 1033         | 0            | -700         |
| 28   | 1370         | 0            | -700         |
| 29   | 1430         | 0            | -700         |
| 30   | 1560         | 0            | -700         |
| 31   | 1730         | 0            | -700         |
| 32   | 0            | 0            | -1050        |
| 33   | 170          | 0            | -1050        |
| 34   | 195          | 0            | -1050        |
| 35   | 360          | 0            | -1050        |
| 36   | 695          | 0            | -1050        |
| 37   | 865          | 0            | -1050        |
| 38   | 1033         | 0            | -1050        |
| 39   | 1370         | 0            | -1050        |
| 40   | 1535         | 0            | -1050        |
| 41   | 1560         | 0            | -1050        |
| 42   | 1730         | 0            | -1050        |
| 43   | 195          | 0            | -1460        |
| 44   | 360          | 0            | -1460        |
| 45   | 695          | 0            | -1460        |
| 46   | 1033         | 0            | -1460        |
| 47   | 1370         | 0            | -1460        |
| 48   | 1535         | 0            | -1460        |
| 49   | 0            | 0            | -1870        |
| 50   | 170          | 0            | -1870        |
| 51   | 195          | 0            | -1870        |
| 52   | 360          | 0            | -1870        |
| 53   | 695          | 0            | -1870        |
| 54   | 1033         | 0            | -1870        |
| 55   | 1250         | 0            | -1870        |
| 56   | 1370         | 0            | -1870        |
| 57   | 1535         | 0            | -1870        |
| 58   | 1560         | 0            | -1870        |
| 59   | 1730         | 0            | -1870        |
| 60   | 0            | 0            | -2360        |
| 61   | 170          | 0            | -2360        |
| 62   | 360          | 0            | -2360        |
| 63   | 695          | 0            | -2360        |
| 64   | 972.5        | 0            | -2360        |
| 65   | 1250         | 0            | -2360        |
| 66   | 1560         | 0            | -2360        |
| 67   | 1730         | 0            | -2360        |
| 68   | 695          | 0            | -2605        |
| 69   | 972.5        | 0            | -2605        |

|     |       |   |       |
|-----|-------|---|-------|
| 70  | 1250  | 0 | -2605 |
| 71  | 0     | 0 | -2850 |
| 72  | 170   | 0 | -2850 |
| 73  | 360   | 0 | -2850 |
| 74  | 695   | 0 | -2850 |
| 75  | 1250  | 0 | -2850 |
| 76  | 1300  | 0 | -2850 |
| 77  | 1560  | 0 | -2850 |
| 78  | 1730  | 0 | -2850 |
| 79  | 0     | 0 | -3340 |
| 80  | 90    | 0 | -3340 |
| 81  | 360   | 0 | -3340 |
| 82  | 380   | 0 | -3340 |
| 83  | 695   | 0 | -3340 |
| 84  | 840   | 0 | -3340 |
| 85  | 982.5 | 0 | -3340 |
| 86  | 1250  | 0 | -3340 |
| 87  | 1300  | 0 | -3340 |
| 88  | 1560  | 0 | -3340 |
| 89  | 1730  | 0 | -3340 |
| 90  | 0     | 0 | -3865 |
| 91  | 90    | 0 | -3865 |
| 92  | 360   | 0 | -3865 |
| 93  | 380   | 0 | -3865 |
| 94  | 840   | 0 | -3865 |
| 95  | 890   | 0 | -3865 |
| 96  | 982.5 | 0 | -3865 |
| 97  | 1300  | 0 | -3865 |
| 98  | 0     | 0 | -4390 |
| 99  | 360   | 0 | -4390 |
| 100 | 432.5 | 0 | -4390 |
| 101 | 890   | 0 | -4390 |
| 102 | 1300  | 0 | -4390 |
| 133 | 595   | 0 | -1870 |
| 134 | 595   | 0 | -2360 |

| <b>Marcações feitas com X a Cinzento</b> |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Ponto                                    | Coordenada X | Coordenada Y | Coordenada Z |
| 103                                      | 300          | -197.5       | 0            |
| 104                                      | 1430         | -197.5       | 0            |
| 105                                      | 0            | -197.5       | -350         |
| 106                                      | 300          | -197.5       | -350         |
| 107                                      | 1430         | -197.5       | -350         |
| 108                                      | 1730         | -197.5       | -350         |
| 109                                      | 300          | -197.5       | -700         |
| 110                                      | 1430         | -197.5       | -700         |
| 111                                      | 195          | -197.5       | -1050        |
| 112                                      | 1535         | -197.5       | -1050        |
| 113                                      | 195          | -197.5       | -1460        |
| 114                                      | 1535         | -197.5       | -1460        |
| 115                                      | 195          | -197.5       | -1870        |
| 116                                      | 1535         | -197.5       | -1870        |
| 117                                      | 1560         | -197.5       | -2360        |
| 118                                      | 1730         | -197.5       | -2850        |
| 119                                      | 0            | -197.5       | -3340        |
| 120                                      | 380          | -197.5       | -3340        |
| 121                                      | 982.5        | -197.5       | -3340        |
| 122                                      | 1300         | -197.5       | -3340        |
| 123                                      | 380          | -197.5       | -3865        |
| 124                                      | 982.5        | -197.5       | -3865        |
| 125                                      | 1300         | -197.5       | -3865        |
| 126                                      | 0            | -197.5       | -4390        |
| 127                                      | 432.5        | -197.5       | -4390        |
| 128                                      | 890          | -197.5       | -4390        |
| 129                                      | 1300         | -197.5       | -4390        |
| 130                                      | 170          | -197.5       | -2360        |
| 131                                      | 595          | -197         | -1870        |
| 132                                      | 595          | -197         | -2360        |

## Lista de todas as linhas de ligação entre pontos:

| Linhas Transversais |               |             |
|---------------------|---------------|-------------|
| linha               | Ponto inicial | Ponto final |
| 1                   | 1             | 2           |
| 1                   | 2             | 3           |
| 1                   | 3             | 4           |
| 1                   | 4             | 5           |
| 1                   | 5             | 6           |
| 1                   | 6             | 7           |
| 1                   | 7             | 8           |
| 1                   | 8             | 9           |
| 1                   | 10            | 11          |
| 1                   | 11            | 12          |
| 1                   | 12            | 13          |
| 1                   | 13            | 14          |
| 1                   | 14            | 15          |
| 1                   | 15            | 16          |
| 1                   | 16            | 17          |
| 1                   | 17            | 18          |
| 1                   | 18            | 19          |
| 1                   | 19            | 20          |
| 1                   | 21            | 22          |
| 1                   | 22            | 23          |
| 1                   | 23            | 24          |
| 1                   | 24            | 25          |
| 1                   | 25            | 26          |
| 1                   | 26            | 27          |
| 1                   | 27            | 28          |
| 1                   | 28            | 29          |
| 1                   | 29            | 30          |
| 1                   | 30            | 31          |
| 1                   | 32            | 33          |
| 1                   | 33            | 34          |
| 1                   | 34            | 35          |
| 1                   | 35            | 36          |
| 1                   | 36            | 37          |
| 1                   | 37            | 38          |
| 1                   | 38            | 39          |
| 1                   | 39            | 40          |
| 1                   | 40            | 41          |
| 1                   | 41            | 42          |
| 1                   | 43            | 44          |
| 1                   | 44            | 45          |
| 1                   | 45            | 46          |
| 1                   | 46            | 47          |
| 1                   | 47            | 48          |
| 1                   | 49            | 50          |
| 1                   | 50            | 51          |
| 1                   | 51            | 52          |
| 1                   | 52            | 133         |
| 1                   | 133           | 53          |
| 1                   | 53            | 54          |
| 1                   | 54            | 55          |
| 1                   | 55            | 56          |
| 1                   | 56            | 57          |
| 1                   | 57            | 58          |
| 1                   | 58            | 59          |
| 1                   | 60            | 61          |
| 1                   | 61            | 62          |
| 1                   | 62            | 134         |
| 1                   | 134           | 63          |
| 1                   | 63            | 64          |
| 1                   | 64            | 65          |
| 1                   | 65            | 66          |
| 1                   | 66            | 67          |
| 1                   | 68            | 69          |
| 1                   | 69            | 70          |
| 1                   | 71            | 72          |
| 1                   | 72            | 73          |
| 1                   | 73            | 74          |
| 1                   | 74            | 75          |
| 1                   | 75            | 76          |

|   |     |     |
|---|-----|-----|
| 1 | 76  | 77  |
| 1 | 77  | 78  |
| 1 | 79  | 80  |
| 1 | 80  | 81  |
| 1 | 81  | 82  |
| 1 | 82  | 83  |
| 1 | 83  | 84  |
| 1 | 84  | 85  |
| 1 | 85  | 86  |
| 1 | 86  | 87  |
| 1 | 87  | 88  |
| 1 | 88  | 89  |
| 1 | 90  | 91  |
| 1 | 91  | 92  |
| 1 | 92  | 93  |
| 1 | 93  | 94  |
| 1 | 94  | 95  |
| 1 | 95  | 96  |
| 1 | 96  | 97  |
| 1 | 98  | 99  |
| 1 | 99  | 100 |
| 1 | 100 | 101 |
| 1 | 101 | 102 |

| Linhas Longitudinais |               |             |
|----------------------|---------------|-------------|
| linha                | Ponto inicial | Ponto final |
| 1                    | 1             | 10          |
| 1                    | 3             | 13          |
| 1                    | 4             | 14          |
| 1                    | 5             | 15          |
| 1                    | 6             | 16          |
| 1                    | 7             | 17          |
| 1                    | 9             | 20          |
| 1                    | 10            | 21          |
| 1                    | 11            | 22          |
| 1                    | 13            | 24          |
| 1                    | 14            | 25          |
| 1                    | 16            | 27          |
| 1                    | 17            | 28          |
| 1                    | 19            | 30          |
| 1                    | 20            | 31          |
| 1                    | 21            | 32          |
| 1                    | 22            | 33          |
| 1                    | 24            | 35          |
| 1                    | 25            | 36          |
| 1                    | 26            | 37          |
| 1                    | 27            | 38          |
| 1                    | 28            | 39          |
| 1                    | 30            | 41          |
| 1                    | 31            | 42          |
| 1                    | 34            | 43          |
| 1                    | 35            | 44          |
| 1                    | 36            | 45          |
| 1                    | 38            | 46          |
| 1                    | 39            | 47          |
| 1                    | 40            | 48          |
| 1                    | 43            | 51          |
| 1                    | 44            | 52          |
| 1                    | 45            | 53          |
| 1                    | 46            | 54          |
| 1                    | 47            | 56          |
| 1                    | 48            | 57          |
| 1                    | 49            | 60          |
| 1                    | 50            | 61          |
| 1                    | 52            | 62          |
| 1                    | 53            | 63          |
| 1                    | 55            | 65          |
| 1                    | 58            | 66          |
| 1                    | 59            | 67          |
| 1                    | 60            | 71          |
| 1                    | 61            | 72          |
| 1                    | 62            | 73          |

|   |    |     |
|---|----|-----|
| 1 | 63 | 68  |
| 1 | 68 | 74  |
| 1 | 64 | 69  |
| 1 | 65 | 70  |
| 1 | 70 | 75  |
| 1 | 66 | 77  |
| 1 | 67 | 78  |
| 1 | 71 | 79  |
| 1 | 73 | 81  |
| 1 | 74 | 83  |
| 1 | 75 | 86  |
| 1 | 76 | 87  |
| 1 | 77 | 88  |
| 1 | 78 | 89  |
| 1 | 79 | 90  |
| 1 | 80 | 91  |
| 1 | 82 | 93  |
| 1 | 84 | 94  |
| 1 | 87 | 97  |
| 1 | 90 | 98  |
| 1 | 92 | 99  |
| 1 | 95 | 101 |
| 1 | 97 | 102 |

| Linhas Verticais |               |             |
|------------------|---------------|-------------|
| linha            | Ponto inicial | Ponto final |
| 1                | 2             | 103         |
| 1                | 8             | 104         |
| 1                | 10            | 105         |
| 1                | 12            | 106         |
| 1                | 18            | 107         |
| 1                | 20            | 108         |
| 1                | 23            | 109         |
| 1                | 29            | 110         |
| 1                | 34            | 111         |
| 1                | 40            | 112         |
| 1                | 43            | 113         |
| 1                | 48            | 114         |
| 1                | 51            | 115         |
| 1                | 57            | 116         |
| 1                | 66            | 117         |
| 1                | 78            | 118         |
| 1                | 79            | 119         |
| 1                | 82            | 120         |
| 1                | 85            | 121         |
| 1                | 87            | 122         |
| 1                | 93            | 123         |
| 1                | 96            | 124         |
| 1                | 97            | 125         |
| 1                | 98            | 126         |
| 1                | 100           | 127         |
| 1                | 101           | 128         |
| 1                | 102           | 129         |
| 1                | 61            | 130         |
| 1                | 133           | 131         |
| 1                | 134           | 132         |

# **ANEXO II**

## **LISTA DE COMANDOS ANSYS®**

|   |        |
|---|--------|
| LISTA DE COMANDOS (Validação Elemento BEAM 188 – Flexão) .....  | II-I   |
| LISTA DE COMANDOS (Validação Elemento BEAM 188 – Tensão) .....  | II-II  |
| LISTA DE COMANDOS (Estudo Inicial à Estrutura – 1ª Parte) ..... | II-III |
| LISTA DE COMANDOS (Estudo Inicial à Estrutura – 2ª Parte) ..... | II-IV  |





## II-I. LISTA DE COMANDOS (Validação Elemento BEAM 188 – Flexão)

```

!!***Escolha da opção Structural***
!!
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
KEYW,PR_CFD,0
/GO

!!***preparação do pré-processador***
/prep7

!!***Escolha do elemento BEAM188***
ET,1,BEAM188

!!***Escolha da Secção***
!/REPLOT,RESIZE
SECTYPE, 1, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,30,60,4,4,4,4,0,0,0,0

!!***Criação dos 2 keypoints***
k,1,0,0,0
k,2,1000,0,0

!!***Criação da linha entre ponto 1 e 2***
l,1,2

!!***Introdução das características do material***
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,210000
MPDATA,PRXY,1,,0.3

!!***Criação da malha***
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,1
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL, _Y
LESIZE,_Y1, , ,50, , , , ,1

CM,_Y,LINE
LSEL, , , , 1
CM,_Y1,LINE
CMSEL, S,_Y
CMSEL, S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,1
CMSEL, S,_Y
CMDELE, _Y
CMDELE, _Y1

LMESH, 1
/UI,MESH,OFF

!!***visualização 3D da malha***
/SHRINK,0
/ESHAPE,1

```

```
/EFACET,1  
/RATIO,1,1,1  
/CFORMAT,32,0  
/REPLOT
```

```
!!***Aplicação de restrições para encastramento no ponto 1***
```

```
GPLOT  
FLST,2,1,3,ORDE,1  
FITEM,2,1  
/GO  
DK,P51X, ,0, ,0,ALL, , , , , ,
```

```
!!***Aplicação da força no ponto 2***
```

```
FLST,2,1,3,ORDE,1  
FITEM,2,2  
/GO  
FK,P51X,FY,-1000
```

```
!!***Solução do problema***
```

```
/SOL  
/STATUS,SOLU  
SOLVE
```

```
!!!***Cálculo da Flecha***
```

```
/POST1  
/EFACET,1  
PLNSOL, U,SUM, 0,1.0
```

## II-II. LISTA DE COMANDOS (Validação Elemento BEAM 188 – Tensão)

```
!!***Escolha da opção Structural***
```

```
!!  
/NOPR  
/PMETH,OFF,0  
KEYW,PR_SET,1  
KEYW,PR_STRUC,1  
KEYW,PR_THERM,0  
KEYW,PR_FLUID,0  
KEYW,PR_ELMAG,0  
KEYW,MAGNOD,0  
KEYW,MAGEDG,0  
KEYW,MAGHFE,0  
KEYW,MAGELC,0  
KEYW,PR_MULTI,0  
KEYW,PR_CFD,0  
/GO
```

```
!!***Preparação do pré-processor***  
/prep7
```

```
!!***Escolha do elemento BEAM188***
```

```
ET,1,BEAM188
```

```
!!***Escolha da Secção***
```

```
!/REPLOT,RESIZE  
SECTYPE, 1, BEAM, HREC, , 0  
SECOFFSET, CENT  
SECDATA,30,60,4,4,4,4,0,0,0,0
```

```
!!***Criação dos 2 keypoints***
```

```
k,1,0,0,0  
k,2,1000,0,0
```

```
!!***Criação da linha entre ponto 1 e 2***
```

```
l,1,2
```

```

!!***Introdução das características do material***
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,210000
MPDATA,PRXY,1,,0.3

!!***Criação da malha***
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,1
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,_,Y
LESIZE,_Y1,,50,,,,,1

CM,_Y,LINE
LSEL,,,1
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,1,,,,,1
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

LMESH,1
/UI,MESH,OFF

!!***Visualização 3D da malha***
/SHRINK,0
/ESHAPE,1
/EFACET,1
/RATIO,1,1,1
/CFORMAT,32,0
/REPLOT

!!***Aplicação de restrições para encastramento no ponto 1***
GPLOT
FLST,2,1,3,ORDE,1
FITEM,2,1
/GO
DK,P51X,,0,,0,ALL,,,,

!!***Aplicação da força no ponto 2***
FLST,2,1,3,ORDE,1
FITEM,2,2
!*
/GO
FK,P51X,FY,-1000

!!***Solução do problema***
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE

!!***Cálculo da Tensão máxima***
/POST1
/EFACET,1
PLNSOL,S,EQV,0,1.0

```

## II-III. LISTA DE COMANDOS (Estudo Inicial à Estrutura – Momento de impacto da viatura)

```

!!***Escolha da opção Structural***
!!
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1

```

```
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULT,0
KEYW,PR_CFD,0
/GO
```

```
!!***Preparação do pré-processador***
/prep7
```

```
!!***Escolha do elemento BEAM188***
ET,1,BEAM188
```

```
!!***Escolha da Secção***
SECTYPE, 1, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,30,60,3,3,3,3,0,0,0,0
```

```
SECTYPE, 2, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,30,60,4,4,4,4,0,0,0,0
```

```
SECTYPE, 3, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,30,60,6,6,6,6,0,0,0,0
```

```
SECTYPE, 4, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,5,60,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
SECTYPE, 5, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,4,130,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
SECTYPE, 6, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,3,290,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
SECTYPE, 7, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,6,355,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
!!***Criação dos keypoints do piso***
```

```
k,1,0,0,0
k,2,300,0,0
k,3,360,0,0
k,4,695,0,0
k,5,865,0,0
k,6,1035,0,0
k,7,1370,0,0
k,8,1430,0,0
k,9,1730,0,0
k,10,0,0,-350
k,11,170,0,-350
k,12,300,0,-350
k,13,360,0,-350
k,14,695,0,-350
k,15,865,0,-350
k,16,1033,0,-350
k,17,1370,0,-350
k,18,1430,0,-350
k,19,1560,0,-350
k,20,1730,0,-350
k,21,0,0,-700
k,22,170,0,-700
k,23,300,0,-700
k,24,360,0,-700
k,25,695,0,-700
k,26,865,0,-700
```

k,27,1033,0,-700  
k,28,1370,0,-700  
k,29,1430,0,-700  
k,30,1560,0,-700  
k,31,1730,0,-700  
k,32,0,0,-1050  
k,33,170,0,-1050  
k,34,195,0,-1050  
k,35,360,0,-1050  
k,36,695,0,-1050  
k,37,865,0,-1050  
k,38,1033,0,-1050  
k,39,1370,0,-1050  
k,40,1535,0,-1050  
k,41,1560,0,-1050  
k,42,1730,0,-1050  
k,43,195,0,-1460  
k,44,360,0,-1460  
k,45,695,0,-1460  
k,46,1033,0,-1460  
k,47,1370,0,-1460  
k,48,1535,0,-1460  
k,49,0,0,-1870  
k,50,170,0,-1870  
k,51,195,0,-1870  
k,52,360,0,-1870  
k,53,695,0,-1870  
k,54,1033,0,-1870  
k,55,1250,0,-1870  
k,56,1370,0,-1870  
k,57,1535,0,-1870  
k,58,1560,0,-1870  
k,59,1730,0,-1870  
k,60,0,0,-2360  
k,61,170,0,-2360  
k,62,360,0,-2360  
k,63,695,0,-2360  
k,64,972.5,0,-2360  
k,65,1250,0,-2360  
k,66,1560,0,-2360  
k,67,1730,0,-2360  
k,68,695,0,-2605  
k,69,972.5,0,-2605  
k,70,1250,0,-2605  
k,71,0,0,-2850  
k,72,170,0,-2850  
k,73,360,0,-2850  
k,74,695,0,-2850  
k,75,1250,0,-2850  
k,76,1300,0,-2850  
k,77,1560,0,-2850  
k,78,1730,0,-2850  
k,79,0,0,-3340  
k,80,90,0,-3340  
k,81,360,0,-3340  
k,82,380,0,-3340  
k,83,695,0,-3340  
k,84,840,0,-3340  
k,85,982.5,0,-3340  
k,86,1250,0,-3340  
k,87,1300,0,-3340  
k,88,1560,0,-3340  
k,89,1730,0,-3340  
k,90,0,0,-3865  
k,91,90,0,-3865  
k,92,360,0,-3865  
k,93,380,0,-3865  
k,94,840,0,-3865  
k,95,890,0,-3865  
k,96,982.5,0,-3865  
k,97,1300,0,-3865  
k,98,0,0,-4390  
k,99,360,0,-4390  
k,100,432.5,0,-4390  
k,101,890,0,-4390  
k,102,1300,0,-4390  
k,133,595,0,-1870  
k,134,595,0,-2360

!!\*\*\*Criação dos keypoints das pernas do piso\*\*\*

k,103,300,-200,0  
k,104,1430,-200,0  
k,105,0,-200,-350  
k,106,300,-200,-350  
k,107,1430,-200,-350  
k,108,1730,-200,-350  
k,109,300,-200,-700  
k,110,1430,-200,-700  
k,111,195,-200,-1050  
k,112,1535,-200,-1050  
k,113,195,-200,-1460  
k,114,1535,-200,-1460  
k,115,195,-200,-1870  
k,116,1535,-200,-1870  
k,117,1560,-200,-2360  
k,118,1730,-200,-2850  
k,119,0,-200,-3340  
k,120,380,-200,-3340  
k,121,982.5,-200,-3340  
k,122,1300,-200,-3340  
k,123,380,-200,-3865  
k,124,982.5,-200,-3865  
k,125,1300,-200,-3865  
k,126,0,-200,-4390  
k,127,432.5,-200,-4390  
k,128,890,-200,-4390  
k,129,1300,-200,-4390  
k,130,170,-200,-2360  
k,131,595,-200,-1870  
k,132,595,-200,-2360

!!\*\*\*Criação de linhas entre os pontos (barras transversais)\*\*\*

l,1,2  
l,2,3  
l,3,4  
l,4,5  
l,5,6  
l,6,7  
l,7,8  
l,8,9  
l,10,11  
l,11,12  
l,12,13  
l,13,14  
l,14,15  
l,15,16  
l,16,17  
l,17,18  
l,18,19  
l,19,20  
l,21,22  
l,22,23  
l,23,24  
l,24,25  
l,25,26  
l,26,27  
l,27,28  
l,28,29  
l,29,30  
l,30,31  
l,32,33  
l,33,34  
l,34,35  
l,35,36  
l,36,37  
l,37,38  
l,38,39  
l,39,40  
l,40,41  
l,41,42  
l,43,44  
l,44,45  
l,45,46  
l,46,47  
l,47,48  
l,49,50

1,50,51  
1,51,52  
1,52,133  
1,133,53  
1,53,54  
1,54,55  
1,55,56  
1,56,57  
1,57,58  
1,58,59  
1,60,61  
1,61,62  
1,62,134  
1,134,63  
1,63,64  
1,64,65  
1,65,66  
1,66,67  
1,68,69  
1,69,70  
1,71,72  
1,72,73  
1,73,74  
1,74,75  
1,75,76  
1,76,77  
1,77,78  
1,79,80  
1,80,81  
1,81,82  
1,82,83  
1,83,84  
1,84,85  
1,85,86  
1,86,87  
1,87,88  
1,88,89  
1,90,91  
1,91,92  
1,92,93  
1,93,94  
1,94,95  
1,95,96  
1,96,97  
1,98,99  
1,99,100  
1,100,101  
1,101,102

!!\*\*\*Criação de linhas entre os pontos (barras longitudinais)\*\*\*

1,1,10  
1,3,13  
1,4,14  
1,5,15  
1,6,16  
1,7,17  
1,9,20  
1,10,21  
1,11,22  
1,13,24  
1,14,25  
1,16,27  
1,17,28  
1,19,30  
1,20,31  
1,21,32  
1,22,33  
1,24,35  
1,25,36  
1,26,37  
1,27,38  
1,28,39  
1,30,41  
1,31,42  
1,34,43  
1,35,44  
1,36,45

1,38,46  
1,39,47  
1,40,48  
1,43,51  
1,44,52  
1,45,53  
1,46,54  
1,47,56  
1,48,57  
1,49,60  
1,50,61  
1,52,62  
1,53,63  
1,55,65  
1,58,66  
1,59,67  
1,60,71  
1,61,72  
1,62,73  
1,63,68  
1,68,74  
1,64,69  
1,65,70  
1,70,75  
1,66,77  
1,67,78  
1,71,79  
1,73,81  
1,74,83  
1,75,86  
1,76,87  
1,77,88  
1,78,89  
1,79,90  
1,80,91  
1,82,93  
1,84,94  
1,87,97  
1,90,98  
1,92,99  
1,95,101  
1,97,102

!!\*\*\*Criação de linhas entre os pontos (pernas)\*\*\*

1,2,103  
1,8,104  
1,10,105  
1,12,106  
1,18,107  
1,20,108  
1,23,109  
1,29,110  
1,34,111  
1,40,112  
1,43,113  
1,48,114  
1,51,115  
1,57,116  
1,66,117  
1,78,118  
1,79,119  
1,82,120  
1,85,121  
1,87,122  
1,93,123  
1,96,124  
1,97,125  
1,98,126  
1,100,127  
1,101,128  
1,102,129  
1,61,130  
1,133,131  
1,134,132



!!\*\*\*Introdução das características do material\*\*\*

```
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,210000
MPDATA,PRXY,1,,0.3
```

!!\*\*\*Criação da malha\*\*\*

```
FLST,5,191,4,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,-191
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,-Y
!*
LESIZE,_Y1,30, , , , , ,1
```

!!\*\*\*Secção de tubo 60x30x3\_secção\_1\*\*\*

```
FLST,5,38,4,ORDE,18
FITEM,5,72
FITEM,5,-93
FITEM,5,99
FITEM,5,-100
FITEM,5,107
FITEM,5,-108
FITEM,5,116
FITEM,5,129
FITEM,5,135
FITEM,5,-136
FITEM,5,145
FITEM,5,-146
FITEM,5,150
FITEM,5,152
FITEM,5,-153
FITEM,5,157
FITEM,5,-158
FITEM,5,161
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,1
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
```

!!\*\*\*Secção do tubo 60x30x4\_secção\_2\*\*\*

```
FLST,5,93,4,ORDE,8
FITEM,5,1
FITEM,5,-62
FITEM,5,65
FITEM,5,-71
FITEM,5,164
FITEM,5,167
FITEM,5,170
FITEM,5,-191
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,2
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
```

!!\*\*\*Secção do tubo 60x30x6\_secção\_3\*\*\*

```
FLST,5,6,4,ORDE,6
FITEM,5,162
FITEM,5,-163
FITEM,5,165
FITEM,5,-166
FITEM,5,168
FITEM,5,-169
CM,_Y,LINE
```

```
LSEL, , , , P51X
CM, _Y1, LINE
CMSEL, S, _Y
CMSEL, S, _Y1
LATT, 1, , 1, , , , 3
CMSEL, S, _Y
CMDELE, _Y
CMDELE, _Y1
```

```
!!***Secção de barra 60x5_secção_4***
FLST, 5, 43, 4, ORDE, 25
FITEM, 5, 94
FITEM, 5, -95
FITEM, 5, 97
FITEM, 5, -98
FITEM, 5, 102
FITEM, 5, -105
FITEM, 5, 110
FITEM, 5, -111
FITEM, 5, 113
FITEM, 5, -114
FITEM, 5, 117
FITEM, 5, -128
FITEM, 5, 131
FITEM, 5, -134
FITEM, 5, 138
FITEM, 5, -140
FITEM, 5, 142
FITEM, 5, -144
FITEM, 5, 147
FITEM, 5, -149
FITEM, 5, 151
FITEM, 5, 154
FITEM, 5, -156
FITEM, 5, 159
FITEM, 5, -160
CM, _Y, LINE
LSEL, , , , P51X
CM, _Y1, LINE
CMSEL, S, _Y
CMSEL, S, _Y1
LATT, 1, , 1, , , , 4
CMSEL, S, _Y
CMDELE, _Y
CMDELE, _Y1
```

```
!!***Secção de barra 130x4_secção_5***
FLST, 5, 2, 4, ORDE, 2
FITEM, 5, 96
FITEM, 5, 112
CM, _Y, LINE
LSEL, , , , P51X
CM, _Y1, LINE
CMSEL, S, _Y
CMSEL, S, _Y1
LATT, 1, , 1, , , , 5
CMSEL, S, _Y
CMDELE, _Y
CMDELE, _Y1
```

```
!!***Secção de barra 290x3_secção_6***
FLST, 5, 6, 4, ORDE, 6
FITEM, 5, 101
FITEM, 5, 106
FITEM, 5, 109
FITEM, 5, 115
FITEM, 5, 130
FITEM, 5, 137
CM, _Y, LINE
LSEL, , , , P51X
CM, _Y1, LINE
CMSEL, S, _Y
CMSEL, S, _Y1
LATT, 1, , 1, , , , 6
CMSEL, S, _Y
CMDELE, _Y
CMDELE, _Y1
```

!!\*\*\*Secção de barra 355x6\_secção\_7\*\*\*

```
CM, _Y, LINE
LSEL, , , , 141
CM, _Y1, LINE
CMSEL, S, _Y
!*
CMSEL, S, _Y1
LATT, 1, , 1, , , , 7
CMSEL, S, _Y
CMDELE, _Y
CMDELE, _Y1
```

```
/REPLOT, RESIZE
FLST, 2, 191, 4, ORDE, 2
FITEM, 2, 1
FITEM, 2, -191
LMESH, P51X
```

!!\*\*\*visualização 3D da malha\*\*\*

```
/SHRINK, 0
/ESHAPE, 1
/EFACET, 1
/RATIO, 1, 1, 1
/CFORMAT, 32, 0
!!/REPLOT
```

!!\*\*\*Rotação 3D para perspectiva\*\*\*

```
/REPLOT, RESIZE
/VIEW, 1, 1, 1, 1
/ANG, 1
/REP, FAST
```

!!\*\*\*Restrições de encastramento\*\*\*

```
FLST, 2, 30, 3, ORDE, 2
FITEM, 2, 103
FITEM, 2, -132
!*
/GO
DK, P51X, , 0, , 0, ALL, , , , , ,
```

!!\*\*\*Aplicação de cargas\*\*\*

```
FLST, 2, 4, 3, ORDE, 4
FITEM, 2, 16
FITEM, 2, 27
FITEM, 2, 53
FITEM, 2, 63
!*
/GO
FK, P51X, FZ, -7160
FLST, 2, 4, 3, ORDE, 4
FITEM, 2, 16
FITEM, 2, 27
FITEM, 2, 53
FITEM, 2, 63
!*
/GO
FK, P51X, FY, 5490
FLST, 2, 4, 3, ORDE, 4
FITEM, 2, 17
FITEM, 2, 28
FITEM, 2, 52
FITEM, 2, 62
!*
/GO
FK, P51X, FZ, -5470
FLST, 2, 4, 3, ORDE, 4
FITEM, 2, 17
FITEM, 2, 28
FITEM, 2, 52
FITEM, 2, 62
!*
/GO
FK, P51X, FY, 3420
FLST, 2, 4, 3, ORDE, 4
```

```
FITEM,2,4
FITEM,2,14
FITEM,2,55
FITEM,2,65
!*
/GO
FK,P51X,FZ,-10150
FLST,2,4,3,ORDE,4
FITEM,2,4
FITEM,2,14
FITEM,2,55
FITEM,2,65
!*
/GO
FK,P51X,FY,5460
FLST,2,4,3,ORDE,4
FITEM,2,3
FITEM,2,13
FITEM,2,58
FITEM,2,66
!*
/GO
FK,P51X,FZ,-8990
FLST,2,4,3,ORDE,4
FITEM,2,3
FITEM,2,13
FITEM,2,58
FITEM,2,66
!*
/GO
FK,P51X,FY,3960
/REPLOT,RESIZE
```

!!\*\*\*solução do problema\*\*\*

```
FINISH
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE
```

!!\*\*\*Cálculo da Tensão máxima\*\*\*

```
/POST1
/EFACET,1
PLNSOL, S,EQV, 0,1.0
```

## II-IV. LISTA DE COMANDOS (Estudo Inicial à Estrutura – Momento de recuperação do impacto da viatura)

!!\*\*\*Escolha da opção Structural\*\*\*

```
!!
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
KEYW,PR_CFD,0
/GO
```

!!\*\*\*preparação do pré-processador\*\*\*

```
/prep7
```

!!\*\*\*Escolha do elemento BEAM188\*\*\*

```
ET,1,BEAM188
```

```
!!***Escolha da Secção***
SECTYPE, 1, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,30,60,3,3,3,3,0,0,0,0

SECTYPE, 2, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,30,60,4,4,4,4,0,0,0,0

SECTYPE, 3, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,30,60,6,6,6,6,0,0,0,0

SECTYPE, 4, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,5,60,0,0,0,0,0,0,0,0

SECTYPE, 5, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,4,130,0,0,0,0,0,0,0,0

SECTYPE, 6, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,3,290,0,0,0,0,0,0,0,0

SECTYPE, 7, BEAM, RECT, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,6,355,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
!!***Criação dos keypoints do piso***
k,1,0,0,0
k,2,300,0,0
k,3,360,0,0
k,4,695,0,0
k,5,865,0,0
k,6,1035,0,0
k,7,1370,0,0
k,8,1430,0,0
k,9,1730,0,0
k,10,0,0,-350
k,11,170,0,-350
k,12,300,0,-350
k,13,360,0,-350
k,14,695,0,-350
k,15,865,0,-350
k,16,1033,0,-350
k,17,1370,0,-350
k,18,1430,0,-350
k,19,1560,0,-350
k,20,1730,0,-350
k,21,0,0,-700
k,22,170,0,-700
k,23,300,0,-700
k,24,360,0,-700
k,25,695,0,-700
k,26,865,0,-700
k,27,1033,0,-700
k,28,1370,0,-700
k,29,1430,0,-700
k,30,1560,0,-700
k,31,1730,0,-700
k,32,0,0,-1050
k,33,170,0,-1050
k,34,195,0,-1050
k,35,360,0,-1050
k,36,695,0,-1050
k,37,865,0,-1050
k,38,1033,0,-1050
k,39,1370,0,-1050
k,40,1535,0,-1050
k,41,1560,0,-1050
k,42,1730,0,-1050
k,43,195,0,-1460
k,44,360,0,-1460
k,45,695,0,-1460
k,46,1033,0,-1460
k,47,1370,0,-1460
```

k,48,1535,0,-1460  
k,49,0,0,-1870  
k,50,170,0,-1870  
k,51,195,0,-1870  
k,52,360,0,-1870  
k,53,695,0,-1870  
k,54,1033,0,-1870  
k,55,1250,0,-1870  
k,56,1370,0,-1870  
k,57,1535,0,-1870  
k,58,1560,0,-1870  
k,59,1730,0,-1870  
k,60,0,0,-2360  
k,61,170,0,-2360  
k,62,360,0,-2360  
k,63,695,0,-2360  
k,64,972.5,0,-2360  
k,65,1250,0,-2360  
k,66,1560,0,-2360  
k,67,1730,0,-2360  
k,68,695,0,-2605  
k,69,972.5,0,-2605  
k,70,1250,0,-2605  
k,71,0,0,-2850  
k,72,170,0,-2850  
k,73,360,0,-2850  
k,74,695,0,-2850  
k,75,1250,0,-2850  
k,76,1300,0,-2850  
k,77,1560,0,-2850  
k,78,1730,0,-2850  
k,79,0,0,-3340  
k,80,90,0,-3340  
k,81,360,0,-3340  
k,82,380,0,-3340  
k,83,695,0,-3340  
k,84,840,0,-3340  
k,85,982.5,0,-3340  
k,86,1250,0,-3340  
k,87,1300,0,-3340  
k,88,1560,0,-3340  
k,89,1730,0,-3340  
k,90,0,0,-3865  
k,91,90,0,-3865  
k,92,360,0,-3865  
k,93,380,0,-3865  
k,94,840,0,-3865  
k,95,890,0,-3865  
k,96,982.5,0,-3865  
k,97,1300,0,-3865  
k,98,0,0,-4390  
k,99,360,0,-4390  
k,100,432.5,0,-4390  
k,101,890,0,-4390  
k,102,1300,0,-4390  
k,133,595,0,-1870  
k,134,595,0,-2360

!!\*\*\*Criação dos keypoints das pernas do piso\*\*\*

k,103,300,-200,0  
k,104,1430,-200,0  
k,105,0,-200,-350  
k,106,300,-200,-350  
k,107,1430,-200,-350  
k,108,1730,-200,-350  
k,109,300,-200,-700  
k,110,1430,-200,-700  
k,111,195,-200,-1050  
k,112,1535,-200,-1050  
k,113,195,-200,-1460  
k,114,1535,-200,-1460  
k,115,195,-200,-1870  
k,116,1535,-200,-1870  
k,117,1560,-200,-2360  
k,118,1730,-200,-2850  
k,119,0,-200,-3340  
k,120,380,-200,-3340  
k,121,982.5,-200,-3340

k,122,1300,-200,-3340  
k,123,380,-200,-3865  
k,124,982.5,-200,-3865  
k,125,1300,-200,-3865  
k,126,0,-200,-4390  
k,127,432.5,-200,-4390  
k,128,890,-200,-4390  
k,129,1300,-200,-4390  
k,130,170,-200,-2360  
k,131,595,-200,-1870  
k,132,595,-200,-2360

!!\*\*\*Criação de linhas entre os pontos (barras transversais)\*\*\*

l,1,2  
l,2,3  
l,3,4  
l,4,5  
l,5,6  
l,6,7  
l,7,8  
l,8,9  
l,10,11  
l,11,12  
l,12,13  
l,13,14  
l,14,15  
l,15,16  
l,16,17  
l,17,18  
l,18,19  
l,19,20  
l,21,22  
l,22,23  
l,23,24  
l,24,25  
l,25,26  
l,26,27  
l,27,28  
l,28,29  
l,29,30  
l,30,31  
l,32,33  
l,33,34  
l,34,35  
l,35,36  
l,36,37  
l,37,38  
l,38,39  
l,39,40  
l,40,41  
l,41,42  
l,43,44  
l,44,45  
l,45,46  
l,46,47  
l,47,48  
l,49,50  
l,50,51  
l,51,52  
l,52,133  
l,133,53  
l,53,54  
l,54,55  
l,55,56  
l,56,57  
l,57,58  
l,58,59  
l,60,61  
l,61,62  
l,62,134  
l,134,63  
l,63,64  
l,64,65  
l,65,66  
l,66,67  
l,68,69  
l,69,70  
l,71,72

1,72,73  
1,73,74  
1,74,75  
1,75,76  
1,76,77  
1,77,78  
1,79,80  
1,80,81  
1,81,82  
1,82,83  
1,83,84  
1,84,85  
1,85,86  
1,86,87  
1,87,88  
1,88,89  
1,90,91  
1,91,92  
1,92,93  
1,93,94  
1,94,95  
1,95,96  
1,96,97  
1,98,99  
1,99,100  
1,100,101  
1,101,102

!!\*\*\*Criação de linhas entre os pontos (barras longitudinais)\*\*\*

1,1,10  
1,3,13  
1,4,14  
1,5,15  
1,6,16  
1,7,17  
1,9,20  
1,10,21  
1,11,22  
1,13,24  
1,14,25  
1,16,27  
1,17,28  
1,19,30  
1,20,31  
1,21,32  
1,22,33  
1,24,35  
1,25,36  
1,26,37  
1,27,38  
1,28,39  
1,30,41  
1,31,42  
1,34,43  
1,35,44  
1,36,45  
1,38,46  
1,39,47  
1,40,48  
1,43,51  
1,44,52  
1,45,53  
1,46,54  
1,47,56  
1,48,57  
1,49,60  
1,50,61  
1,52,62  
1,53,63  
1,55,65  
1,58,66  
1,59,67  
1,60,71  
1,61,72  
1,62,73  
1,63,68  
1,68,74



1,64,69  
 1,65,70  
 1,70,75  
 1,66,77  
 1,67,78  
 1,71,79  
 1,73,81  
 1,74,83  
 1,75,86  
 1,76,87  
 1,77,88  
 1,78,89  
 1,79,90  
 1,80,91  
 1,82,93  
 1,84,94  
 1,87,97  
 1,90,98  
 1,92,99  
 1,95,101  
 1,97,102

!!\*\*\*Criação de linhas entre os pontos (pernas)\*\*\*

1,2,103  
 1,8,104  
 1,10,105  
 1,12,106  
 1,18,107  
 1,20,108  
 1,23,109  
 1,29,110  
 1,34,111  
 1,40,112  
 1,43,113  
 1,48,114  
 1,51,115  
 1,57,116  
 1,66,117  
 1,78,118  
 1,79,119  
 1,82,120  
 1,85,121  
 1,87,122  
 1,93,123  
 1,96,124  
 1,97,125  
 1,98,126  
 1,100,127  
 1,101,128  
 1,102,129  
 1,61,130  
 1,133,131  
 1,134,132

!!\*\*\*Introdução das características do material\*\*\*

MPTMP,,,,,,  
 MPTMP,1,0  
 MPDATA,EX,1,,210000  
 MPDATA,PRXY,1,,0.3

!!\*\*\*Criação da malha\*\*\*

FLST,5,191,4,ORDE,2  
 FITEM,5,1  
 FITEM,5,-191  
 CM,\_Y,LINE  
 LSEL,,,P51X  
 CM,\_Y1,LINE  
 CMSEL,\_,Y  
 !\*  
 LESIZE,\_,Y1,30,,,,,1

!!\*\*\*Secção de tubo 60x30x3\_secção\_1\*\*\*

FLST,5,38,4,ORDE,18  
 FITEM,5,72  
 FITEM,5,-93  
 FITEM,5,99  
 FITEM,5,-100

```

FITEM,5,107
FITEM,5,-108
FITEM,5,116
FITEM,5,129
FITEM,5,135
FITEM,5,-136
FITEM,5,145
FITEM,5,-146
FITEM,5,150
FITEM,5,152
FITEM,5,-153
FITEM,5,157
FITEM,5,-158
FITEM,5,161
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,1
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

!!***Secção do tubo 60x30x4_secção_2***
FLST,5,93,4,ORDE,8
FITEM,5,1
FITEM,5,-62
FITEM,5,65
FITEM,5,-71
FITEM,5,164
FITEM,5,167
FITEM,5,170
FITEM,5,-191
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,2
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

!!***Secção do tubo 60x30x6_secção_3***
FLST,5,6,4,ORDE,6
FITEM,5,162
FITEM,5,-163
FITEM,5,165
FITEM,5,-166
FITEM,5,168
FITEM,5,-169
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,3
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

!!***Secção de barra 60x5_secção_4***
FLST,5,43,4,ORDE,25
FITEM,5,94
FITEM,5,-95
FITEM,5,97
FITEM,5,-98
FITEM,5,102
FITEM,5,-105
FITEM,5,110
FITEM,5,-111
FITEM,5,113
FITEM,5,-114
FITEM,5,117
FITEM,5,-128
FITEM,5,131
FITEM,5,-134

```

```

FITEM,5,138
FITEM,5,-140
FITEM,5,142
FITEM,5,-144
FITEM,5,147
FITEM,5,-149
FITEM,5,151
FITEM,5,154
FITEM,5,-156
FITEM,5,159
FITEM,5,-160
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,4
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

!!***Secção de barra 130x4_secção_5***
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,96
FITEM,5,112
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,5
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

!!***Secção de barra 290x3_secção_6***
FLST,5,6,4,ORDE,6
FITEM,5,101
FITEM,5,106
FITEM,5,109
FITEM,5,115
FITEM,5,130
FITEM,5,137
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,6
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

!!***Secção de barra 355x6_secção_7***
CM,_Y,LINE
LSEL,, , , ,141
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1, ,1, , , ,7
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

/REPLOT,RESIZE
FLST,2,191,4,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-191
LMESH,P51X

!!***visualização 3D da malha***
/SHRINK,0
/ESHAPE,1
/EFACET,1
/RATIO,1,1,1
/CFORMAT,32,0
!!/REPLOT

```

```
!!***Rotação 3D para perspetiva***
/REPLOTT,RESIZE
/VIEW,1,1,1,1
/ANG,1
/REP,FAST
```

```
!!***Restrições de encastramento***
FLST,2,30,3,ORDE,2
FITEM,2,103
FITEM,2,-132
!*
/GO
DK,P51X, ,0, ,0,ALL, , , , , ,
```

```
!!***Aplicação de cargas***
```

```
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,56
FITEM,2,81
!*
/GO
FK,P51X,FZ,1270
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,54
FITEM,2,83
!*
/GO
```

```
FK,P51X,FZ,3950
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,56
FITEM,2,81
!*
/GO
```

```
FK,P51X,FY,1270
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,54
FITEM,2,83
!*
/GO
```

```
FK,P51X,FY,3950
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,44
FITEM,2,88
!*
/GO
```

```
FK,P51X,FZ,930
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,45
FITEM,2,86
!*
/GO
```

```
FK,P51X,FZ,6070
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,44
FITEM,2,88
!*
/GO
```

```
FK,P51X,FY,340
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,45
FITEM,2,86
!*
/GO
```

```
FK,P51X,FY,2200
```

```
!!***Solução do problema***
```

```
FINISH
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE
```

```
!!***Cálculo da Tensão máxima***
```

```
/POST1
/EFACET,1
PLNSOL, S,EQV, 0,1.0
```

# ANEXO III

## CÁLCULOS ANALÍTICOS PARA VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS EM ANSYS® E SOLIDWORKS®

|  |         |
|--|---------|
| DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES ANALITICAMENTE ..... | III-I   |
| CÁLCULOS ANALÍTICOS .....                      | III-II  |
| VALIDAÇÃO EM ANSYS® .....                      | III-III |
| VALIDAÇÃO EM SOLIDWORKS® .....                 | III-IV  |
| COMPARAÇÃO DE RESULTADOS .....                 | III-V   |



## Estudo de Validação

Irá ser realizada a validação do elemento escolhido (**BEAM188**) do ANSYS® e do elemento padrão do SolidWorks® através da análise de uma viga encastrada com perfil retangular submetida a um carregamento. Irá ser analisada de modo analítico, calculando-se a flecha, declive e tensão de Von Mises e utilizando os programas ANSYS® e SolidWorks®. Por fim comparar-se-ão os resultados para ter uma noção do desvio que os elementos darão face aos cálculos analíticos. Ficaremos assim com a noção da aplicabilidade destes dois elementos e programas informáticos de simulação.

### III-I. DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES ANALITICAMENTE:

A viga encastrada AB tem secção transversal constante e suporta uma carga  $F$  na sua extremidade livre A. É de ter em atenção que as deduções que se apresentam são expressões genéricas e não específicas para cada secção de viga estudada.

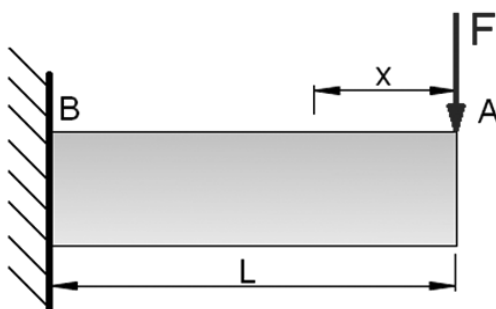


Figura A.III.1. – Representação esquemática da viga para a determinação das equações.

Numa qualquer secção distanciada  $x$  da extremidade A, o momento fletor é dado pela equação:

$$M(x) = -F \times x \quad (\text{III- 1})$$

De seguida é apresentada a equação diferencial da elástica (Budynas-Nisbett, 2006):

$$E \times I \times \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) = M(x) \quad (\text{III- 2})$$

E logo, por substituição:

$$E \times I \times \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) = -F \times x \quad (\text{III- 3})$$

Partindo desta equação e procedendo à sua integração, obteremos a equação das tangentes (ou equação dos declives):

$$E \times I \times \left(\frac{dy}{dx}\right) = -\frac{F \times x^2}{2} + C_1 \quad (\text{III- 4})$$

De acordo com a integração, resulta uma constante  $C_1$  que será determinada através da substituição das condições impostas pela viga (encastramento), na equação III-4.

Na secção de encastramento B verifica-se  $x = L$  e  $\left(\frac{dy}{dx}\right)_B = 0$ , logo substituindo resulta que:

$$E \times I \times 0 = -\frac{F \times L^2}{2} + C_1 \langle \Rightarrow \rangle C_1 = \frac{F \times L^2}{2} \quad \text{(III- 5)}$$

E substituindo na equação III-4, temos:

$$E \times I \times \left(\frac{dy}{dx}\right) = -\frac{F \times x^2}{2} + \frac{F \times L^2}{2} \quad \text{(III- 6)}$$

Integrando novamente a equação dos declives obtém-se a equação da flecha numa qualquer secção da viga:

$$E \times I \times (y) = -\frac{F \times x^3}{6} + \frac{F \times L^2 \times x}{2} + C_2 \quad \text{(III- 7)}$$

Sabe-se que na secção de encastramento B,  $x = L$  e  $y = 0$ , pelo que substituindo estes valores na equação das flechas (equação III-7), consegue-se determinar a segunda constante de integração  $C_2$ :

$$E \times I \times (y) = -\frac{F \times x^3}{6} + \frac{F \times L^2 \times x}{2} + C_2 \langle \Rightarrow \rangle C_2 = -\frac{F \times L^3}{3} \quad \text{(III- 8)}$$

Substituindo  $C_2$  na equação das flechas tem-se:

$$E \times I \times (y) = -\frac{F \times x^3}{6} + \frac{F \times L^2 \times x}{2} - \frac{F \times L^3}{3} \quad \text{(III- 9)}$$

As expressões encontradas para efetuar o cálculo do declive e da flecha apresentam-se na seguinte tabela resumo.

Tabela A.III.1. – Resumo de Equações

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Declives</b> | $E \times I \times \left(\frac{dy}{dx}\right) = -\frac{F \times x^2}{2} + \frac{F \times L^2}{2}$            |
| <b>Flechas</b>  | $E \times I \times (y) = -\frac{F \times x^3}{6} + \frac{F \times L^2 \times x}{2} - \frac{F \times L^3}{3}$ |

## III-II. CÁLCULOS ANALÍTICOS

### Representação da secção de um tubo da estrutura

De seguida representa-se a secção de uma tubagem da estrutura do piso interior, de modo a compreender-se de onde são obtidos os valores para os cálculos a efetuar.



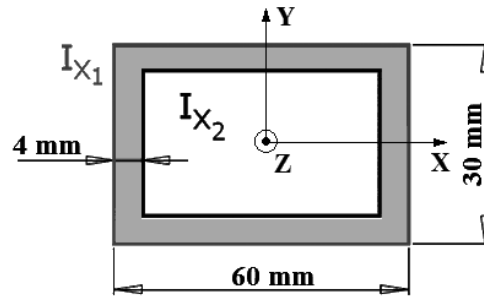


Figura A.III.2. – Secção da viga com as dimensões do tubo da estrutura do piso interior.

### Cálculo do momento de inércia:

$$I_x = I_{x_1} - I_{x_2} = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{b' \times h'^3}{12} = \frac{0,06 \times 0,03^3}{12} - \frac{0,052 \times 0,022^3}{12} \approx 8,89 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \quad (\text{III-10})$$

Tabela A.III.2. – Tabela de dados

| Dados do material                | Dados da Viga                           | Cargas aplicadas      |
|----------------------------------|---|-----------------------|
| $E = 210 \times 10^9 \text{ Pa}$ | $I_x = 8,89 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ | $F = -1000 \text{ N}$ |
|                                  | $L = 1 \text{ m}$                       |                       |
|                                  | Secção $60 \times 30 \times 4$          |                       |

### Cálculo do declive da viga no ponto A:

Sabe-se que em A,  $x = 0$ , logo substituindo na equação III-6, temos:

$$E \times I \times \left(\frac{dy}{dx}\right) = -\frac{F \times x^2}{2} + \frac{F \times L^2}{2} \langle \Rightarrow \rangle$$

$$\langle \Rightarrow \rangle 210 \times 10^9 \times 8,89 \times 10^{-8} \times \left(\frac{dy}{dx}\right) = 0 + \frac{-1000 \times 1^2}{2} \langle \Rightarrow \rangle \left(\frac{dy}{dx}\right) \approx -0,027 \text{ rad} \quad (\text{III-11})$$

### Cálculo da flecha da viga no ponto A:

Sabe-se que em A,  $x = 0$ , logo substituindo na equação III-9, temos:

$$E \times I \times (y_A) = -\frac{F \times x^3}{6} + \frac{F \times L^2 \times x}{2} - \frac{F \times L^3}{3} \langle \Rightarrow \rangle$$

$$\langle \Rightarrow \rangle 210 \times 10^9 \times 8,89 \times 10^{-8} \times (y_A) = -0 + 0 - \frac{-1000 \times 1^3}{3}$$

$$\langle \Rightarrow \rangle (y_A) \approx 0,01785 \text{ m} \approx 17,85 \text{ mm} \quad (\text{III-12})$$

### Cálculo da tensão devido ao momento fletor no ponto B ( $M_B$ ):

Para o cálculo da tensão devido ao momento fletor na viga utilizou-se a seguinte expressão:

$$\sigma_{zB} = \frac{M_B}{I_x} \times y_{MAX} \quad (\text{III-13})$$

Para poder substituir os valores das variáveis na equação III-13, efetuaram-se os seguintes cálculos:

$$\bullet \quad M_B = F \times L = 1000 \times 1 = 1000 \text{ N.m} \quad (\text{III- 14})$$

$$\bullet \quad y_{MAX} = 0,015 \text{ m} \quad (\text{III- 15})$$

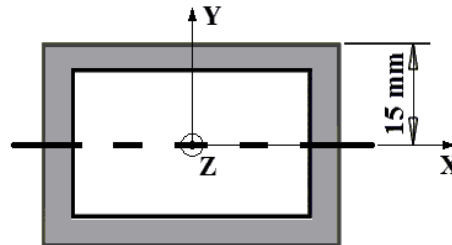


Figura A.III.3. – Distância à fibra mais afastada.

E substituindo os valores das diversas variáveis na equação III-13, temos que:

$$\sigma_{z_B} = \frac{M_B}{\frac{I_x}{y_{MAX}}} = \frac{1000}{\frac{8,89 \times 10^{-8}}{0,015}} \approx 168,7 \text{ MPa} \quad (\text{III- 16})$$

Pelo cálculo chegou-se ao valor de 168,7 MPa para a tensão devido ao momento fletor observada na viga.

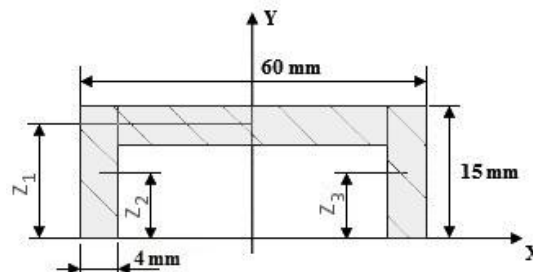
### Cálculo da tensão de corte devido ao Esforço Transverso no ponto B ( $V_B$ ):

Para o cálculo da tensão devido ao esforço transverso na viga utilizou-se a seguinte expressão:

$$\tau_{xy} = \frac{V_B \cdot Q}{I_x \cdot b} \quad (\text{III- 17})$$

Para poder substituir os valores das variáveis na equação III-17, efetuaram-se os seguintes cálculos:

$$V_B = F = 1000 \text{ N} \quad (\text{III- 18})$$



$$z_1 = 0,013 \text{ m}$$

$$z_2 = z_3 = 0,0075 \text{ m}$$

Figura A.III.4. – Representação de meia secção da viga, para obtenção dos valores das distâncias  $z_1$ ,  $z_2$  e  $z_3$ .

$$\bullet \quad Q = A_1 \times z_1 + A_2 \times z_2 + A_3 \times z_3 \langle \Rightarrow \rangle$$

$$\langle \Rightarrow \rangle Q = 0,052 \times 0,004 \times 0,013 + 0,015 \times 0,004 \times 0,0075 + 0,015 \times 0,004 \times 0,0075$$

$$\langle \Rightarrow \rangle Q \approx 3,6 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (\text{III- 19})$$

$$\blacksquare \quad b = 0,004 + 0,004 = 0,008 \text{ m} \quad (\text{III- 20})$$

E substituindo os valores das diversas variáveis na equação III-17, temos:

$$\tau_{xy} = \frac{V_B \cdot Q}{I_x \cdot b} = \frac{1000 \times 3,6 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{8,89 \times 10^{-8} \times 0,008} \approx 5,1 \text{ Mpa} \quad (\text{III- 21})$$

Tendo em conta para o cálculo das tensões o Critério de Von Mises, temos a seguinte equação (Budynas-Nisbett, 2006):

$$\sigma_{Von\ Mises} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6 \times (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}{2}} \quad (\text{III- 22})$$

E substituindo os valores das diversas variáveis  $\sigma_x = 0$  ;  $\sigma_y = 0$  ;  $\sigma_{z_B} \approx 168,7 \text{ MPa}$  ;  $\tau_{xy} \approx 5,1 \text{ Mpa}$  ;  $\tau_{xz} = 0$  ;  $\tau_{yz} = 0$  na equação III-22 temos:

$$\sigma_{Von\ Mises} = \sqrt{\frac{(-168,7)^2 + (-168,7)^2 + 6 \times (5,1^2)}{2}} \approx 168,9 \text{ MPa} \quad (\text{III- 23})$$

De seguida apresenta-se uma tabela síntese dos resultados obtidos analiticamente:

Tabela A.III.3. – Síntese de resultados obtidos (cálculos analíticos)

|                  | <b>Símbolo</b>        | <b>Método analítico</b> | <b>Unidade</b> |
|------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| Declive          | $(dy/dx)$             | -0,027                  | [rad]          |
| Flecha           | $(y_A)$               | 17,85                   | [mm]           |
| Tensão Von Mises | $\sigma_{Von\ Mises}$ | 168,9                   | [MPa]          |

### III-III. VALIDAÇÃO EM ANSYS®

De modo a poder comparar os resultados obtidos através do método analítico, realizou-se o mesmo estudo utilizando o programa ANSYS®.

Para que os resultados sejam os mais próximos, todos os constrangimentos foram aplicados de igual forma bem como a intensidade da força aplicada.

Na figura A.III.5 são apresentadas todas as propriedades da secção calculadas pelo programa.

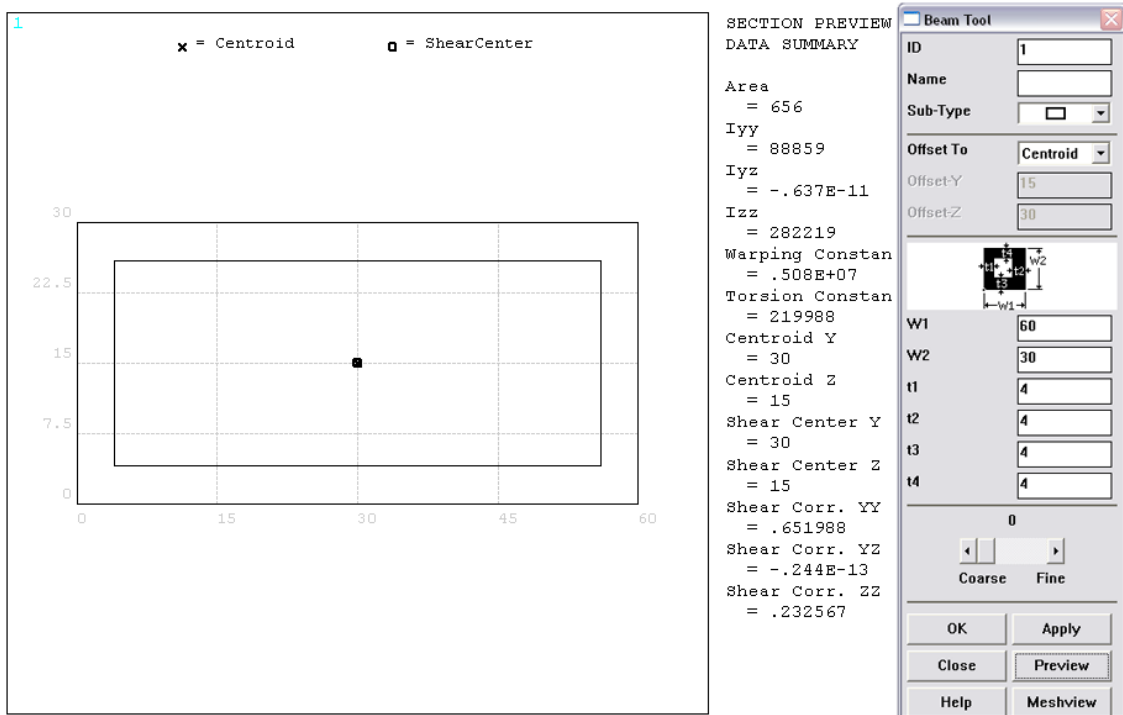


Figura A.III.5. – Representação da secção da tubagem, obtida do programa ANSYS®.

De seguida enunciam-se os resultados obtidos a uma escala de deformação real, ou seja, de 1.

▪ Declive

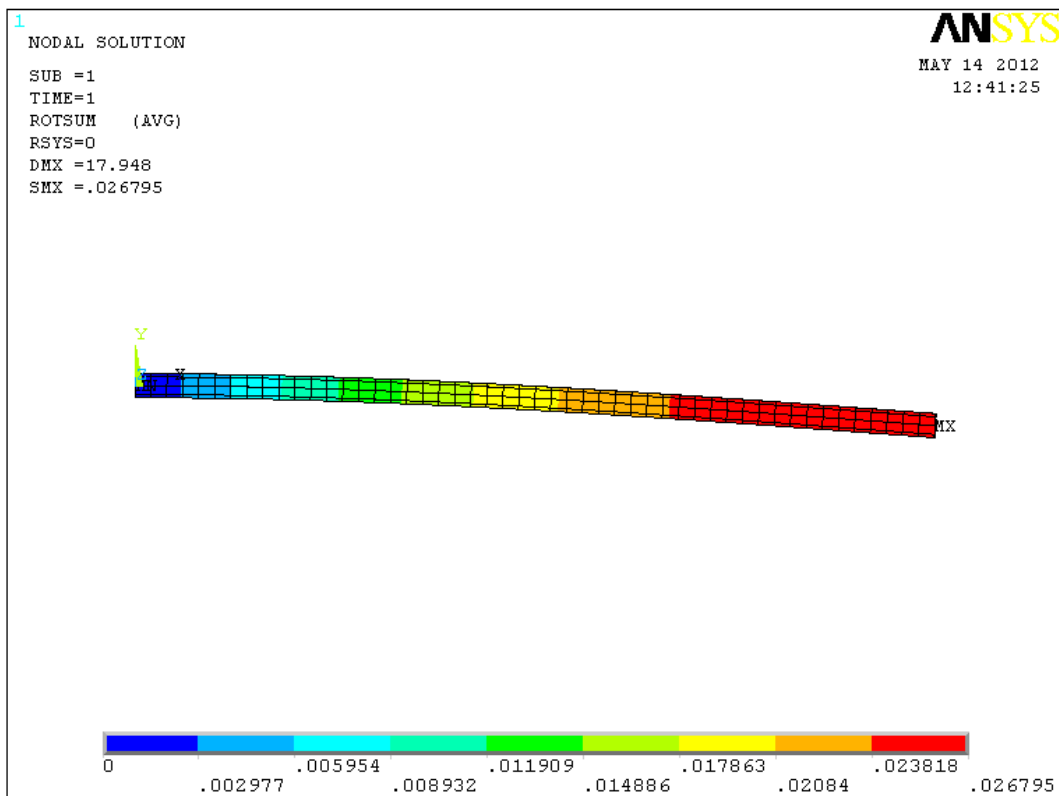


Figura A.III.6. – Representação do declive da viga, em ANSYS®.

▪ Flecha

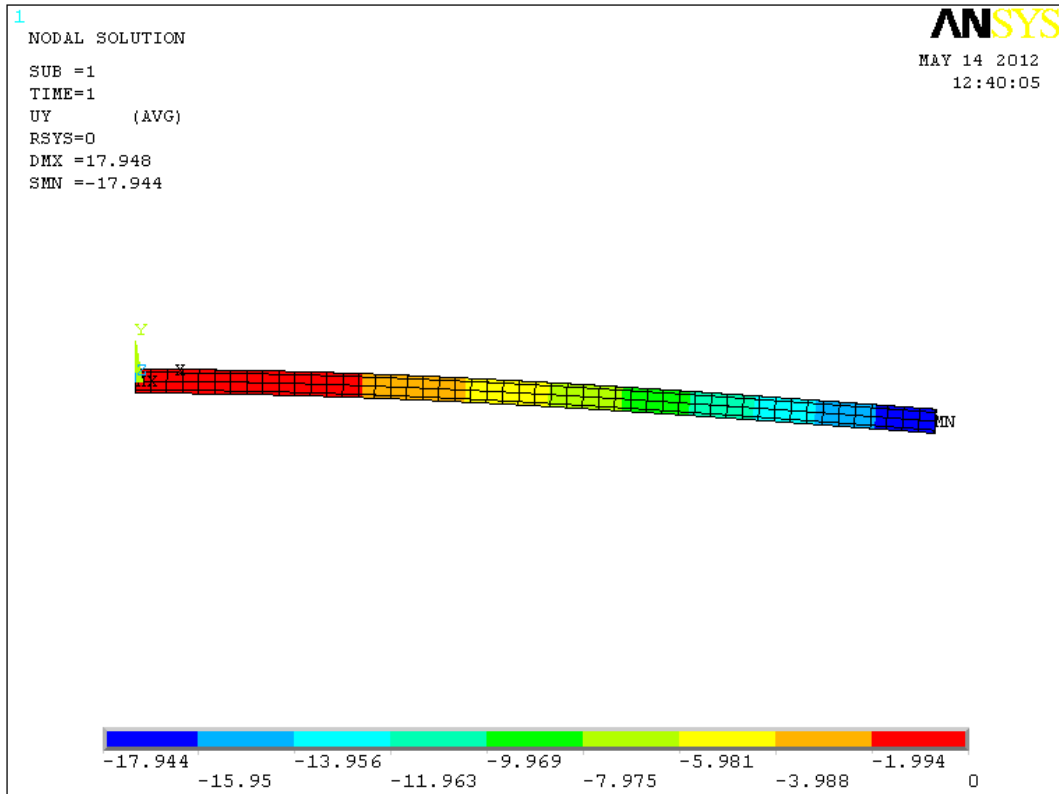


Figura A.III.7. – Representação da flecha da viga em ANSYS®.

▪ Tensão máxima de Von Mises

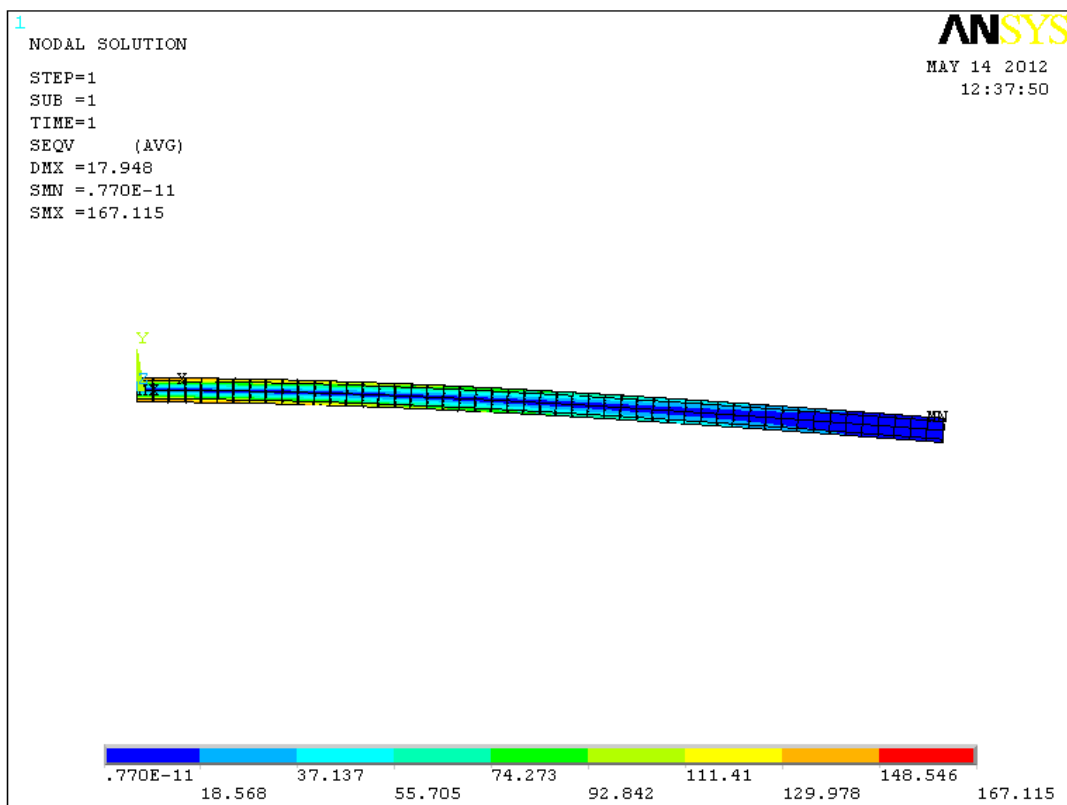


Figura A.III.8. – Representação da tensão máxima de Von Mises na viga.

De acordo com o estudo apresentado anteriormente elaborou-se uma tabela síntese dos resultados obtidos:

Tabela A.III.4. – Síntese de resultados obtidos (ANSYS®)

|                  | Programa ANSYS® | Unidade |
|------------------|-----------------|---------|
| Declive          | -0,027          | [rad]   |
| Flecha           | 17,94           | [mm]    |
| Tensão Von Mises | 167,1           | [MPa]   |

### III-IV. VALIDAÇÃO EM SOLIDWORKS®

Do mesmo modo se procedeu à realização do ensaio utilizando o programa SolidWorks®, sendo aplicados todos os constrangimentos necessários e semelhantes aos descritos para os anteriores métodos.

De seguida enunciam-se os resultados obtidos a uma escala de deformação real, ou seja, de 1.

#### ▪ Flecha

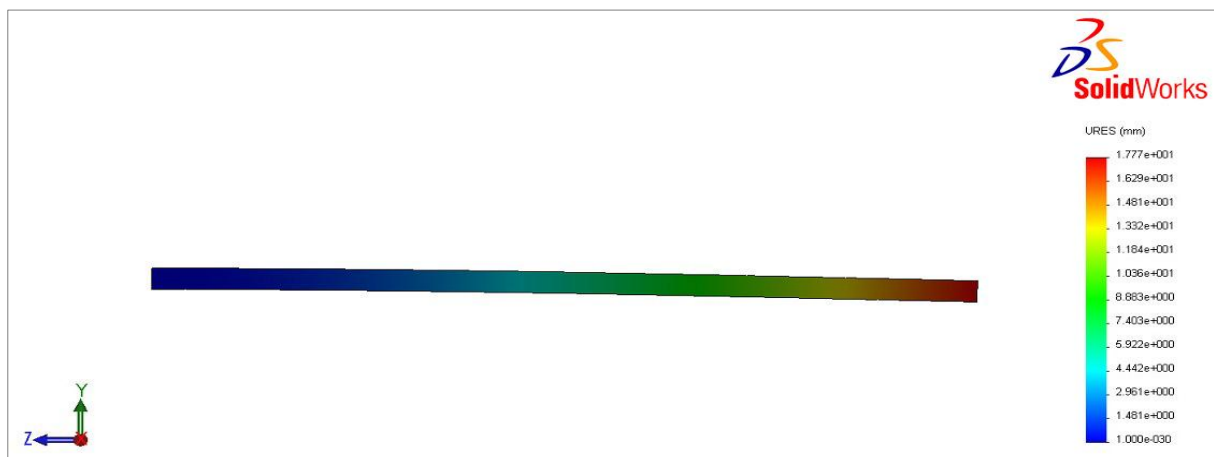


Figura A.III.9. – Representação da flecha da viga, em SolidWorks®.

#### ▪ Tensão máxima de Von Mises

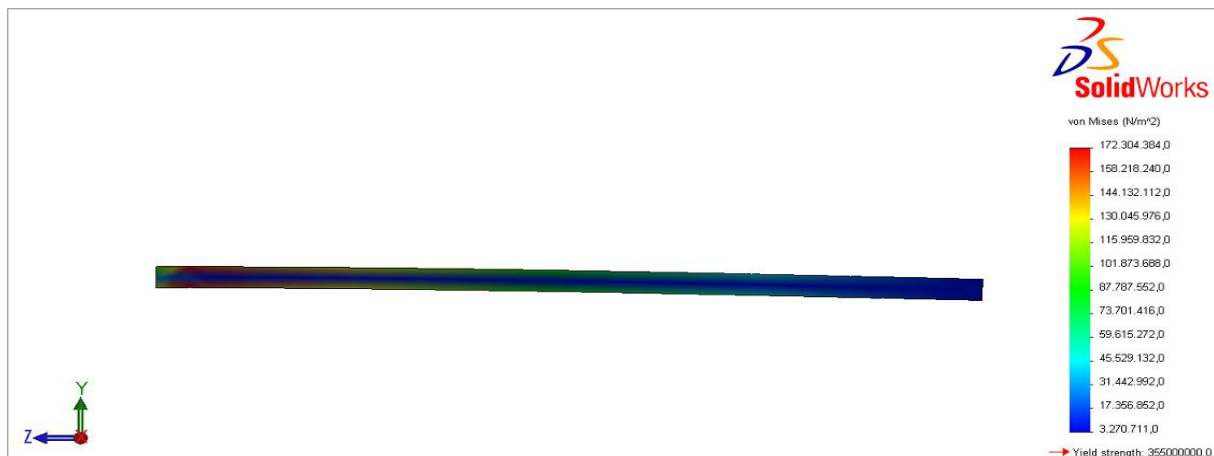


Figura A.III.10. – Representação da tensão de Von Mises na viga, em SolidWorks®.

De acordo com o estudo apresentado anteriormente elaborou-se uma tabela síntese dos resultados obtidos:

Tabela A.III.5. – Síntese de resultados obtidos (SolidWorks®)

|                  | Programa SolidWorks® | Unidade |
|------------------|----------------------|---------|
| Flecha           | 17,77                | [mm]    |
| Tensão Von Mises | 172,3                | [MPa]   |

### III-IV. Comparação de resultados

De acordo com os resultados obtidos quer através do método analítico, quer através das simulações em ANSYS® e SolidWorks®, construiu-se uma tabela síntese que agrupa os diversos valores:

Tabela A.III.6. – Comparação de resultados

|                  | Método analítico | Programa ANSYS® | Programa SolidWorks® | Unidade |
|------------------|------------------|-----------------|----------------------|---------|
| Declive          | -0,027           | -0,027          | -                    | [rad]   |
| Flecha           | 17,85            | 17,94           | 17,77                | [mm]    |
| Tensão Von Mises | 168,9            | 167,1           | 172,3                | [MPa]   |

Por análise dos resultados obtidos, observa-se que os valores retirados pelos diversos métodos utilizados são aproximados, tendo-se assumido o elemento (BEAM188) e o elemento padrão, para os programas ANSYS® e SolidWorks® respetivamente, para realização dos estudos do piso interior da viatura.

Verifica-se que, de entre os valores obtidos para a Tensão de Von Mises, o valor adquirido quando se utiliza o programa SolidWorks®, é o mais elevado, isto poderá significar que o resultado apresentado será mais conservativo no que respeita a segurança.

Com base nestes resultados, assume-se que ambos os programas estão a fornecer dados aceitáveis, podendo ser aplicáveis e utilizados para os seguintes estudos.





# **ANEXO IV**

## **CÁLCULOS PARA DETERMINAÇÃO DE REAÇÕES A APLICAR NA ESTRUTURA DO PISO INTERIOR**



Para efeitos de cálculo, considerou-se que a fixação aparafusada em A e em C seria equivalente a ter dois encastramentos, ou seja, semelhante a ter uma viga Bi-encastrada, visto que os parafusos terão que oferecer a resistência adequada para que se façam transmitir as forças de carregamento provocadas nas cintas, para a estrutura do piso. Os parafusos terão então capacidade de oferecer tal aperto que impeça o deslizamento entre as superfícies interactuantes da calha e da estrutura do piso, sendo a força no eixo z transmitida por atrito e não pelo corte dos parafusos, visto que também estes, não são adequados a funcionar ao corte.

Sendo assim, apresenta-se uma figura esquemática, onde se visualiza a aplicação de cargas no ponto B, e as respetivas reações e momentos resultantes nos pontos A e C.

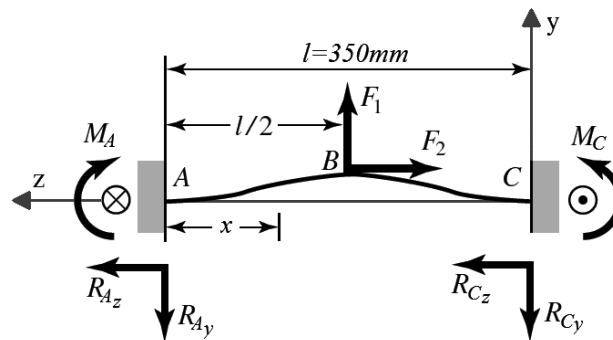


Figura A.IV.1. – Aplicação de cargas no ponto B e respectivas reações e momentos resultantes nos pontos A e C.

Da análise da figura anterior foram obtidas as seguintes equações, que permitirão determinar o valor de cada variável, através da realização de cálculos.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_z = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_A = 0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_{Az} + R_{Cz} - F_2 = 0 \\ -R_{Ay} + F_1 - R_{Cy} = 0 \\ M_A - F_1 \times \frac{l}{2} + R_{Cy} \times l - M_C = 0 \end{array} \right. \quad (IV-1)$$

Trata-se de um caso de viga hiperestática (3 equações para 6 incógnitas), de onde podem ser diretamente determinados os valores de  $R_{Ay}$  e  $R_{Cy}$ , uma vez que a força  $F_1$  está aplicada a meio do troço AB, sendo desta forma  $R_{Ay} = R_{Cy}$ . Da mesma forma foram obtidos os valores de  $R_{Az}$  e  $R_{Cz}$ , pelo mesmo motivo, da força  $F_2$  estar aplicada a meio do troço AB, sendo distribuída igualmente pelos dois pontos, resultando  $R_{Az} = R_{Cz}$ .

Sendo:  $R_{Ay} = R_{Cy}$  e  $R_{Az} = R_{Cz}$  temos por substituição:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{Cz} + R_{Cz} - F_2 = 0 \\ -R_{Cy} + F_1 - R_{Cy} = 0 \\ M_A - F_1 \times \frac{l}{2} + R_{Cy} \times l - M_C = 0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_{Az} = R_{Cz} = \frac{F_2}{2} \\ R_{Ay} = R_{Cy} = \frac{F_1}{2} \\ M_A - F_1 \times \frac{l}{2} + R_{Cy} \times l - M_C = 0 \end{array} \right. \quad (IV-2)$$

Ficam assim por determinar os valores de  $M_A$  e  $M_C$ .

Considerando o troço AB temos:

Numa qualquer secção do troço AB distanciada  $x$  da extremidade A, o momento fletor é dado pela equação:  $M(x) = M_A - R_{Ay} \times x$

Considerando a equação diferencial da elástica, temos (Budynas-Nisbett, 2006):

$$E \times I \times \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) = M(x) \quad (IV-3)$$

E logo, por substituição:

$$E \times I \times \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) = M_A - R_{Ay} \times x \quad (IV-4)$$

Partindo desta equação e procedendo à sua integração, obteremos a equação das tangentes (ou equação dos declives):

$$E \times I \times \left(\frac{dy}{dx}\right) = M_A \times x - \frac{R_{Ay} \times x^2}{2} + C_1 \quad (IV-5)$$

De acordo com a integração, resulta uma constante  $C_1$  que será determinada através da substituição das condições impostas pela viga (encastramento), na equação IV-5.

Na secção de encastramento A verifica-se  $x = 0$  e  $\left(\frac{dy}{dx}\right) = 0$ , logo, substituindo na equação IV-5, resulta que:

$$E \times I \times 0 = M_A \times 0 - \frac{R_{Ay} \times 0^2}{2} + C_1 \langle \Rightarrow \rangle C_1 = 0 \quad (IV-6)$$

E substituindo  $C_1$  na equação dos declives (equação IV-5) temos:

$$E \times I \times \left(\frac{dy}{dx}\right) = M_A \times x - \frac{R_{Ay} \times x^2}{2} \quad (IV-7)$$

Integrando novamente a equação dos declives obtém-se a equação da flecha numa qualquer secção da viga:

$$E \times I \times (y) = \frac{M_A \times x^2}{2} - \frac{R_{Ay} \times x^3}{6} + C_2 \quad (IV-8)$$

Sabe-se que na secção de encastramento A,  $x = 0$  e  $y = 0$ , pelo que substituindo estes valores na equação das flechas (equação IV-8), consegue-se determinar a segunda constante de integração  $C_2$ :

$$E \times I \times (y) = \frac{M_A \times x^2}{2} - \frac{R_{Ay} \times x^3}{6} + C_2 \langle \Rightarrow \rangle C_2 = 0 \quad (IV-9)$$

Substituindo  $C_2$  na equação das flechas (equação IV-8), tem-se:

$$E \times I \times (y) = \frac{M_A \times x^2}{2} - \frac{R_{Ay} \times x^3}{6} \quad (IV-10)$$

Determinadas as equações dos declives e das flechas, e sabendo que na secção do ponto B,  $x = l/2$  e  $\left(\frac{dy}{dx}\right) = 0$ , pode ser determinado o valor de  $M_A$ , substituindo-se estes valores na equação dos declives (equação IV-7).

$$E \times I \times \left(\frac{dy}{dx}\right) = M_A \times x - \frac{R_{Ay} \times x^2}{2} \langle \Rightarrow \rangle M_A = \frac{R_{Ay} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{l} \quad (IV-11)$$

Considerando novamente o sistema de equações iniciais, pode ser determinado o valor de  $M_C$ , procedendo-se à substituição do valor de  $M_A$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{Az} = R_{Cz} = \frac{F_2}{2} \\ R_{Ay} = R_{Cy} = \frac{F_1}{2} \\ M_A - F_1 \times \frac{l}{2} + R_{Cy} \times l - M_C = 0 \end{array} \right. \langle \Rightarrow \rangle \left\{ \begin{array}{l} R_{Az} = R_{Cz} = \frac{F_2}{2} \\ R_{Ay} = R_{Cy} = \frac{F_1}{2} \\ M_C = \frac{R_{Ay} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{l} - F_1 \times \frac{l}{2} + R_{Cy} \times l \end{array} \right. \quad (IV-12)$$

De forma a utilizar as mesmas expressões para o cálculo das reações e momentos que serão transmitidos à estrutura do piso interior em todos os pontos, apresenta-se uma tabela resumo com as mesmas, facilitando a sua consulta.

Tabela A.IV.1. – Resumo de equações

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Reações em z</b> | $R_{Az} = R_{Cz} = \frac{F_2}{2}$   |
| <b>Reações em y</b> | $R_{Ay} = R_{Cy} = \frac{F_1}{2}$   |
| <b>Momentos</b>     | $M_A = \frac{R_{Ay} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{l}$  |
|                     | $M_C = \frac{R_{Ay} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{l} - F_1 \times \frac{l}{2} + R_{Cy} \times l$ |

Resolvendo, como caso de exemplo, para a instalação de uma cadeira de rodas manual, com utilização de cinto de segurança do lado esquerdo, ou seja, que viaje do lado esquerdo da viatura, temos as seguintes variáveis de carregamento para o ponto de fixação da cinta traseira / direita, ponto B (ver figura 4.13).

Tabela A.IV.2. – Valores a aplicar nas equações, referentes ao ponto B

| Variáveis | Designação                        | Sentido | Valor | Unidades |
|-----------|-----------------------------------|---------|-------|----------|
| $F_1$     | Força vertical                    | ↑       | 10,99 | [kN]     |
| $F_2$     | Força horizontal                  | ⇒       | 14,31 | [kN]     |
| $l$       | Distância entre pontos de fixação | ↔       | 350   | [mm]     |

Substituindo os valores das variáveis da tabela A.IV.2 nas equações da tabela A.IV.1, obtêm-se os seguintes resultados:

$$R_{Az} = R_{Cz} = \frac{F_2}{2} = \frac{14,31}{2} \approx 7,16 \text{ kN} \quad \leftarrow \quad (IV-13)$$

$$R_{Ay} = R_{Cy} = \frac{F_1}{2} = \frac{10,99}{2} \approx 5,49 \text{ kN} \quad \downarrow \quad (IV-14)$$

$$M_A = \frac{R_{Ay} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{l} = \frac{5,49 \times \left(\frac{0,350}{2}\right)^2}{0,350} \approx 0,48 \text{ kN.m} \quad \curvearrowright \quad (IV-15)$$

$$M_C = \frac{R_{Ay} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{l} - F_1 \times \frac{l}{2} + R_{Cy} \times l = 0,48 - 10,99 \times \frac{0,350}{2} + 5,49 \times 0,350 \approx 0,48 \text{ kN.m} \quad \curvearrowright \quad (IV-16)$$

Todos os restantes cálculos, referentes aos outros pontos para cada tipo de cadeira de rodas, foram calculados utilizando as mesmas equações da tabela A.IV.1, apresentando-se o resumo dos valores encontrados na seguinte tabela.

Tabela A.IV.3. – Resumo dos valores obtidos para os vários pontos de fixação

| Ponto de fixação  | Tipo de cadeira de rodas |          | Força    |
|-------------------|--------------------------|----------|----------|
| Trás / Direito    | Manual                   | Elétrica | Unidades |
| $F_1$             | 10,99                    | 10,91    | [kN]     |
| $F_2$             | -14,31                   | -20,29   |          |
| $R_{Az}$          | 7,16                     | 10,15    |          |
| $R_{Ay}$          | -5,49                    | -5,46    |          |
| $R_{Cz}$          | 7,16                     | 10,15    |          |
| $R_{Cy}$          | -5,49                    | -5,46    |          |
| $M_A$             | 0,48                     | 0,48     | [kN.m]   |
| $M_C$             | 0,48                     | 0,48     |          |
| Trás / Esquerdo   |                          |          |          |
| $F_5$             | 6,83                     | 7,92     | [kN]     |
| $F_6$             | -10,94                   | -17,97   |          |
| $R_{Ez}$          | 5,47                     | 8,99     |          |
| $R_{Ey}$          | -3,42                    | -3,96    |          |
| $R_{Gz}$          | 5,47                     | 8,99     |          |
| $R_{Gy}$          | -3,42                    | -3,96    |          |
| $M_E$             | 0,30                     | 0,35     | [kN.m]   |
| $M_G$             | 0,30                     | 0,35     |          |
| Frente / Direito  |                          |          |          |
| $F_3$             | 3,95                     | 2,20     | [kN]     |
| $F_4$             | 3,95                     | 6,07     |          |
| $R_{Dz}$          | -3,95                    | -6,07    |          |
| $R_{Dy}$          | -3,95                    | -2,20    |          |
| Frente / Esquerdo |                          |          |          |
| $F_7$             | 1,27                     | 0,34     | [kN]     |
| $F_8$             | 1,27                     | 0,93     |          |
| $R_{Hz}$          | -1,27                    | -0,93    |          |
| $R_{Hy}$          | -1,27                    | -0,34    |          |

# **ANEXO V**

## **DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS PARAFUSOS A INSTALAR NAS CALHAS DE FIXAÇÃO**

|  |       |
|--|-------|
| VERIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA DOS PARAFUSOS .....     | V-I   |
| VERIFICAÇÃO CONTRA ESCORREGAMENTO DA LIGAÇÃO ..... | V-II  |
| CONCLUSÃO DE RESULTADOS .....                      | V-III |





## Dimensionamento e seleção dos parafusos a instalar nas calhas de fixação

Nos procedimentos de cálculos de parafusos existem várias seguranças a verificar, dependentemente de cada situação ou caso a estudar. Estas seguranças devem ser verificadas a fim de dimensionar um parafuso que cumpra com o requerido.

Para este projeto, os parafusos deverão ser verificados à sua própria resistência à tração, bem como ao escorregamento da ligação, devendo obter-se um coeficiente de segurança igual ou superior a 3, coeficiente este que terá sido imposto anteriormente.

Tomando como referência todas as equações para o dimensionamento e verificação dos parafusos, foi possível realizar os presentes cálculos, a fim de verificar a sua conformidade com os requisitos impostos (Budynas-Nisbett, 2006).

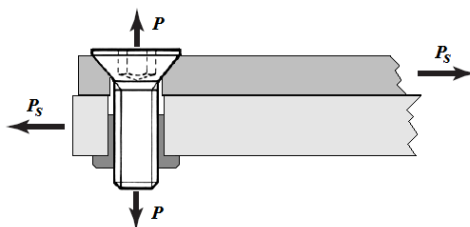


Figura A.V.1. – Representação esquemática das forças exteriores aplicadas à separação da junta,  $P$ , e ao corte na junta/parafuso,  $P_s$ .

As seguintes equações representam a força de tração no parafuso,  $F_b$ , e a força de compressão na junta por  $F_m$ .

$$F_b = F_{irec} + CP_{sep} \quad (V-1)$$

$$F_m = F_{irec} - (1 - C)P_{sep} \quad (V-2)$$

$F_{irec}$  – Força de pré-tensão inicial dada à junta/parafuso;

$C$  – Constante adimensional de rigidez da junta;

$P_{sep}$  – Força exterior aplicada de separação da junta, num parafuso;

Quanto à verificação do parafuso à tração e ao não escorregamento da junta deverão ser respeitadas as equações V-3 e V-4 respetivamente:

- Verificação da resistência do parafuso:

$$P_p \geq F_b \quad (V-3)$$

- Verificação contra escorregamento:

$$f_m F_m \geq P_s \quad (V-4)$$

$P_p$  – Carga de prova do parafuso;

$f_m$  – Coeficiente de atrito entre materiais da junta;

$P_s$  – Força exterior aplicada de corte na junta/parafuso;

Tidas as equações de verificação necessárias, procedeu-se à realização de todos os cálculos intermédios, de forma a obter os valores desconhecidos.

Para determinar,  $C$ , a constante elástica da junta, é necessário determinar a rigidez da espiga do parafuso,  $k_b$ , e a rigidez da junta,  $k_m$ , de modo a cumprir com a equação V-5:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (V-5)$$

▪ **Determinação de  $k_b$ :**

Quando o parafuso é exposto a uma carga de tração, este tende a alongar, assemelhando-se este alongamento ao de duas molas em série, uma vez que a rigidez da parte roscada e da parte lisa da espiga são diferentes.

Para o cálculo de duas molas associadas em série temos:

$$k_b = \left( \frac{1}{k_t} + \frac{1}{k_d} \right)^{-1} \quad (V-6)$$

De seguida apresentam-se as equações para o cálculo da rigidez da parte roscada da espiga  $k_t$  e da rigidez da parte lisa da espiga  $k_d$ . A área de tração para parafusos M12x1,75 é dada por  $A_t = 84,3\text{mm}^2$ , tendo sido considerado o módulo de elasticidade de  $E = 210\text{GPa}$  (Budynas-Nisbett, 2006). Neste caso, como os parafusos utilizados serão completamente roscados, num comprimento de  $20\text{mm}$ , não possuem área da parte lisa,  $A_d$ , resultando  $k_d = 0$ .

$$k_t = \frac{A_t E}{l_t} = \frac{84,3 \times 10^{-6} \times 210 \times 10^9}{0,020} \approx 885,2 \times 10^6 \text{ N/m} \quad (V-7)$$

$$k_d = \frac{A_d E}{l_d} = 0 \quad (V-8)$$

Por substituição na equação V-6 mas neste caso considerando apenas a rigidez da parte roscada do parafuso e não a associação em série, visto que é nula a rigidez da parte lisa devido à sua inexistência, é possível determinar a rigidez da espiga do parafuso:

$$k_b = \left( \frac{1}{k_t} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{885,2 \times 10^6} \right)^{-1} \approx 885,2 \times 10^6 \text{ N/m} \quad (V-9)$$

▪ **Determinação de  $k_m$ :**

De modo a determinar a rigidez da junta, será necessário calcular a rigidez de ambos os membros da mesma, sendo neste caso constituída por uma parte em Aço e outra em Alumínio.

A equação que permite a realização desse cálculo apresenta-se de seguida:

$$k_m = \left( \frac{1}{k_{S355JR}} + \frac{1}{k_{Alumínio}} \right)^{-1} \quad (V-10)$$

A equação V-11 permite obter o valor da rigidez de cada membro da junta, sendo que será utilizada para a determinação da rigidez da parte da junta em Aço de construção e da parte em Alumínio.

$$k_{Material} = \frac{0,5774\pi E d}{\ln \frac{(1,155t+D-d)(D+d)}{(1,155t+D+d)(D-d)}} \quad (V-11)$$

Tabela A.V.1. – Características dos membros da junta

| Material | Módulo de Elasticidade, $E$ , [GPa] | Espessura, $t$ [mm]    | $d$ [mm] | $D$ [mm] |
|----------|-------------------------------------|------------------------|----------|----------|
| S355JR   | 210                                 | 4 (tubo) + 1,5 (chapa) | 12       | 18       |
| Alumínio | 71                                  | 4                      |          |          |

Nota:  $D = 1,5 \times d$  (Budynas-Nisbett, 2006)

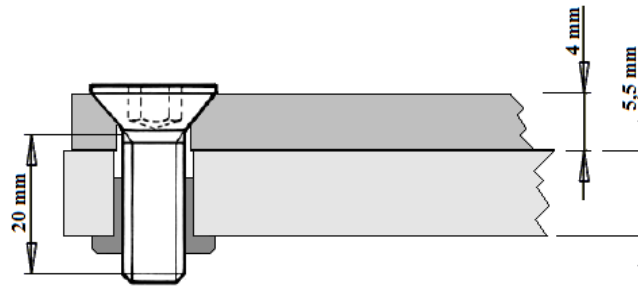


Figura A.V.2. – Visualização da espessura de cada membro da junta aparafusada.

Por substituição dos valores da tabela A.V.1. na equação V-11 obtêm-se os valores para  $k_{S355JR}$  e  $k_{Alumínio}$ :

$$k_{S355JR} = \frac{0,5774 \times \pi \times 210 \times 10^9 \times 0,012}{\ln \frac{(1,155 \times 0,0055 + 0,018 - 0,012)(0,018 + 0,012)}{(1,155 \times 0,0055 + 0,018 + 0,012)(0,018 - 0,012)}} \approx 862,4 \times 10^7 \text{ N/m} \quad (V-12)$$

$$k_{Alumínio} = \frac{0,5774 \times \pi \times 71 \times 10^9 \times 0,012}{\ln \frac{(1,155 \times 0,004 + 0,018 - 0,012)(0,018 + 0,012)}{(1,155 \times 0,004 + 0,018 + 0,012)(0,018 - 0,012)}} \approx 361,3 \times 10^7 \text{ N/m} \quad (V-13)$$

Substituindo agora os valores determinados para  $k_{S355JR}$  e  $k_{Alumínio}$ , na equação V-10, é possível determinar a rigidez da junta:

$$k_m = \left( \frac{1}{k_{S355JR}} + \frac{1}{k_{Alumínio}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{862,4 \times 10^7} + \frac{1}{361,3 \times 10^7} \right)^{-1} \approx 254,6 \times 10^7 \text{ N/m} \quad (V-14)$$

▪ **Determinação de  $C$**

Determinados os valores necessários para o cálculo da constante elástica da junta, e substituindo-se os mesmos na equação V-5, obtém-se o seguinte valor para  $C$ :

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = \frac{885,2 \times 10^6}{885,2 \times 10^6 + 254,6 \times 10^7} \approx 0,258 \quad (\text{V- 15})$$

▪ **Determinação de  $P_P$ :**

Por consulta da tabela de classes de parafusos, foi tomado o valor de tensão de prova,  $S_P = 830 \text{ MPa}$ , para a classe CR 10.9, tendo também sido considerado o valor da área de tração do parafuso,  $A_t = 84,3 \text{ mm}^2$  (Budynas-Nisbett, 2006).

$$P_P = S_P A_t = 830 \times 10^6 \times 84,3 \times 10^{-6} = 69969 \text{ N} \quad (\text{V- 16})$$

▪ **Determinação de  $F_{irec}$ :**

Visto se tratar de uma ligação não amovível, onde foram utilizados parafusos novos e não reutilizados, o fator multiplicador da carga de prova que determina a pré-tensão recomendada para cada parafuso será de  $\chi = 0,9$ .

$$F_{irec} = \chi P_P = 0,9 \times 69969 = 62972,1 \text{ N} \quad (\text{V- 17})$$

## V-I. VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS PARAFUSOS

Para o cálculo foi considerado o valor de  $P$  referente aos parafusos de fixação das calhas que estão sujeitos a maior carga, ou seja, dos parafusos na zona de instalação das cintas traseiras, para cadeiras de rodas elétricas. Sendo assim o valor de  $P_{sep}$  será determinado a partir da divisão da carga  $F_1$  por 2 parafusos, ou seja, igual ao valor das reações  $R_{Ay} = R_{Cy}$ , apresentadas no anexo IV.

$$P_{sep} = R_{Ay} = R_{Cy} = \frac{F_1}{2} = \frac{10,91}{2} \approx 5,46 \text{ kN} \quad (\text{V- 18})$$

Por substituição da equação V-1 na equação V-3 obtém-se a seguinte equação de verificação aos parafusos:

$$P_P \geq F_{irec} + C P_{sep} \quad (\text{V- 19})$$

Onde, considerando a existência de um coeficiente de segurança resulta:

$$P_P = F_{irec} + Cn_b P_{sep} \langle \Rightarrow \rangle n_b = \frac{P_P - F_{irec}}{C P_{sep}} = \frac{69969 - 62972,1}{0,258 \times 5460} \approx 4,97 \quad (V-20)$$

## V-II. VERIFICAÇÃO CONTRA ESCORREGAMENTO DA LIGAÇÃO

Neste caso foi utilizado também o valor de  $P_s$  referente aos mesmos pontos de fixação, uma vez que será aí onde verifica maior aplicação de cargas, tornando-se numa zona mais crítica. O valor considerado para o coeficiente de atrito estático, entre Aço e Alumínio foi de,  $f_m = 0.61$ , uma vez que é inexistente o movimento entre os dois corpos (Serway & Jewett, 2004). Sendo assim o valor de  $P_s$  será determinado a partir da divisão da carga  $F_2$  por 2 parafusos, ou seja, igual ao valor das reações  $R_{A_z} = R_{C_z}$ , apresentadas no anexo IV.

$$P_s = R_{A_z} = R_{C_z} = \frac{F_2}{2} = \frac{20,29}{2} \approx 10,15 \text{ kN} \quad (V-21)$$

Por substituição da equação V-2 na equação V-4 obtém-se a seguinte equação de verificação aos parafusos:

$$f_m(F_{irec} - (1 - C)P_{sep}) \geq P_s \quad (V-22)$$

Onde, considerando a existência de um coeficiente de segurança resulta:

$$f_m(F_{irec} - (1 - C)P_{sep}) = n_{esc} P_s \langle \Rightarrow \rangle$$

$$\langle \Rightarrow \rangle n_{esc} = \frac{f_m(F_{irec} - (1 - C)P_{sep})}{P_s} = \frac{0,61(62972,1 - (1 - 0,258) \times 5460)}{10150} \approx 3,54 \quad (V-23)$$

## V-III. CONCLUSÃO DE RESULTADOS

De acordo com os valores dos coeficientes de segurança obtidos tanto na verificação do parafuso à sua resistência à tração como na verificação ao escorregamento entre as duas superfícies interactuantes, constata-se que para ambos se obteve um valor superior a 3, valor que tinha sido estimado no capítulo 4, ponto 4.5.2.. O coeficiente que revelou maior preocupação foi o de escorregamento,  $n_{esc} \approx 3,54$ , sendo nesse que se obteve o menor valor, comparativamente com o coeficiente de resistência do parafuso à tração, onde se obteve o valor de  $n_b \approx 4,97$ .

Verifica-se então, que os parafusos selecionados estão aptos para serem utilizados com a segurança requerida, tendo capacidade para transmitir as cargas aplicadas pelas cintas na pior situação de carregamento, sendo esta, o choque frontal da viatura.

Os parafusos a instalar serão parafusos de cabeça chata com sextavado interior, com rosca na totalidade tendo o comprimento de 20mm, medida M12x1,75, da classe CR 10.9, segundo a norma DIN 7991.



Figura A.V.3. – Representação do parafuso selecionado.

# **ANEXO VI**

## **APROVEITAMENTO DE CHAPA PARA O PISO INTERIOR**

|   |        |
|---|--------|
| VERIFICAÇÃO QUANTO AO COMPRIMENTO ..... | VI-I   |
| VERIFICAÇÃO QUANTO À LARGURA .....      | VI-II  |
| VERIFICAÇÃO QUANTO AO DESPERDÍCIO ..... | VI-III |





## Aproveitamento de chapa para o piso interior

Vista a necessidade de cobrir algumas zonas da estrutura desenvolvida, bem como revestir algumas das laterais, foi feito o máximo aproveitamento da chapa adquirida, explicando-se e detalhando-se de seguida a utilidade de cada componente bem como a sua localização de instalação.

A chapa adquirida tinha as dimensões de 1500 mm de largura, por 6500 mm de comprimento, sendo a sua espessura de 1,5 mm, tendo-se tido em atenção as dimensões mínimas necessárias bem como as dimensões existentes no mercado. Esta chapa foi submetida a vários cortes, resultando daí as secções de chapa que se necessitariam.

Visto isto, foram realizados cálculos e algumas considerações, de modo a diminuir o material de sobra, ou seja, desperdício.

De seguida apresenta-se uma tabela com as dimensões de todas as chapas necessárias bem como as suas quantidades.

Tabela A.VI.1. – Dimensões das chapas utilizadas

| Quantidade | Designação   | Comprimento [mm] | Largura [mm] | Material |
|------------|--------------|------------------|--------------|----------|
| 1          | Chapa 1      | 1770             | 1070         | S355JR   |
| 1          | Chapa 2      | 1380             | 820          | S355JR   |
| 1          | Chapa 3      | 1770             | 1470         | S355JR   |
| 1          | Chapa 4      | 1340             | 1070         | S355JR   |
| 1          | Chapa 5      | 1100             | 740          | S355JR   |
| 1          | Chapa 6      | 1050             | 205          | S355JR   |
| 1          | Chapa 7      | 430              | 205          | S355JR   |
| 1          | Chapa 8      | 490              | 205          | S355JR   |
| 2          | Chapa 9 e 10 | 1697             | 205          | S355JR   |

Depois de detalhadas e definidas todas as secções de chapa necessárias, são apresentadas as localizações de instalação das mesmas, tornando-se melhor e mais fácil a visualização utilizando-se figuras esquemáticas, como se mostra de seguida.

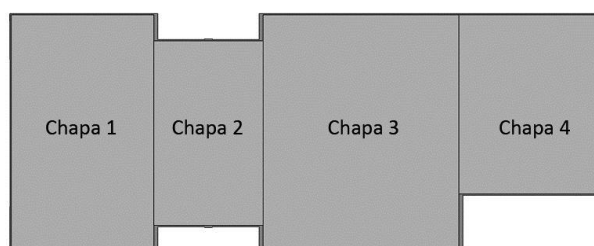


Figura A.VI.1. – Representação da vista superior do piso, com as 4 chapas de cobertura.

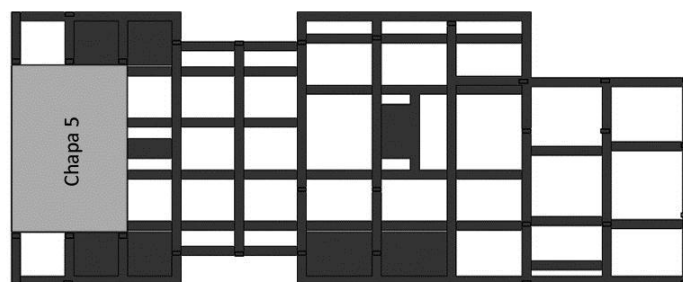


Figura A.VI.2. – Visualização da chapa 5, instalada pela parte inferior do piso, na zona traseira da viatura.

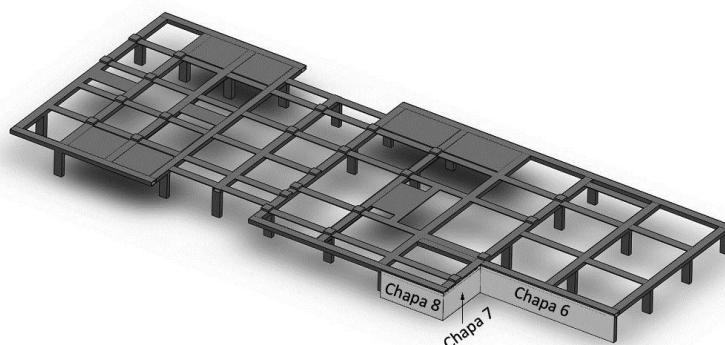


Figura A.VI.3. – Visualização das chapas 6, 7 e 8 que servem de revestimento para o degrau, na zona da porta lateral.

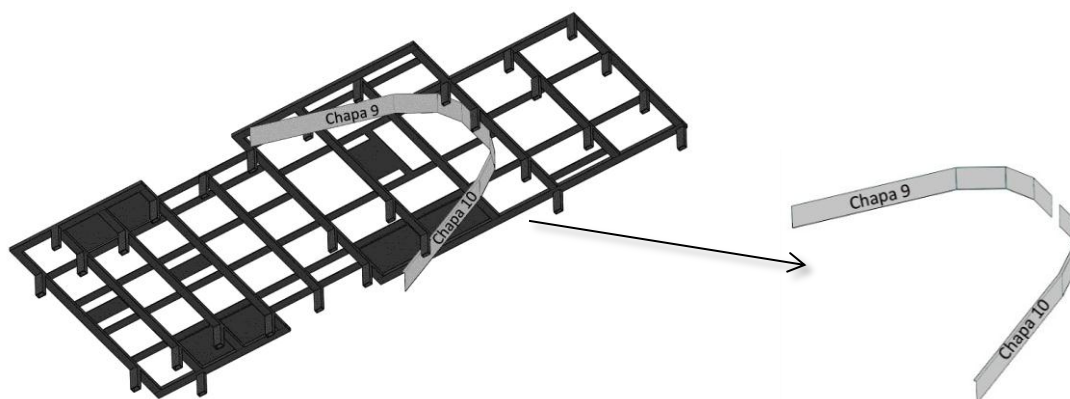


Figura A.VI.4. – Chapas 9 e 10, instaladas pela parte inferior do piso e que servirão como guias para as tubagens e cabelagem da plataforma elevatória.

De referir que as chapas 9 e 10 são idênticas, tendo estas que ser quinadas com determinados ângulos, de forma a apresentarem o aspeto representado.

Depois de explicados os locais de instalação das chapas, procedeu-se à elaboração de uma representação esquemática, de modo a ser possível visualizar a área útil a cinza claro e a área que será desperdício a cinza escuro.

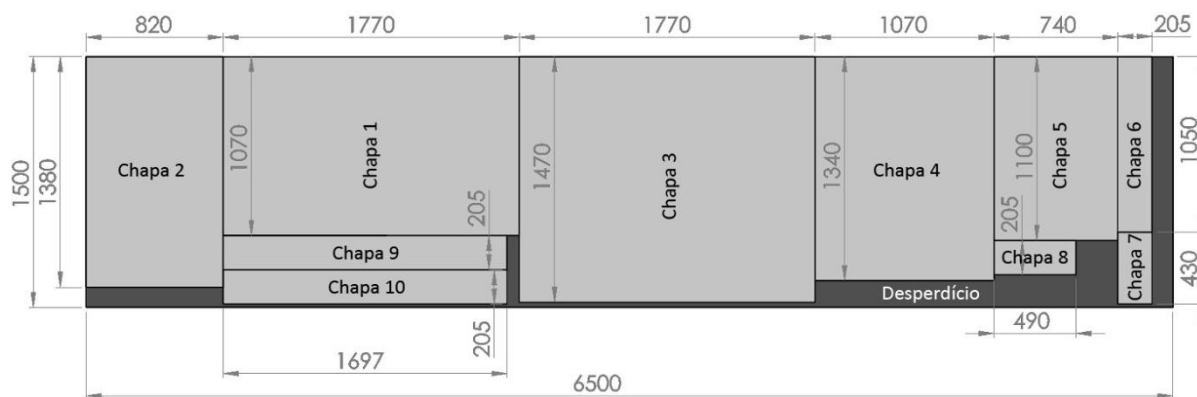


Figura A.VI.5. – Visualização do aproveitamento da chapa adquirida.

De modo a validar se as secções de chapa caberiam na chapa adquirida (representada a cinza escuro), foram feitas algumas verificações de modo a garantir que nenhuma dimensão seria afetada.

## VI-I. VERIFICAÇÃO QUANTO AO COMPRIMENTO

Sendo o corte realizado por guilhotina, a espessura de corte será nula, somando-se apenas as dimensões de cada secção de chapa, de onde se obtém o seguinte comprimento máximo utilizado:

$$C_{\text{máx. utilizado}} = 820 + 1770 + 1770 + 1070 + 740 + 205 = 6375 \text{ mm} \quad (\text{VI- 1})$$

Por comparação do resultado obtido, com o valor de 6500 mm de comprimento total da chapa adquirida, se constata que é admissível em comprimento a introdução da totalidade das secções de chapa.

## VI-II. VERIFICAÇÃO QUANTO À LARGURA

Do mesmo modo se obtém a seguinte largura máxima utilizada:

$$L_{\text{máx. utilizada}} = 1070 + 205 + 205 = 1480 \text{ mm} \quad (\text{VI- 2})$$

Constata-se também que o valor da largura máxima utilizada se encontra dentro do limite imposto, ou seja, da largura máxima da chapa adquirida, 1500 mm.

### VI-III. VERIFICAÇÃO QUANTO AO DESPERDÍCIO

Para verificação da chapa desperdiçada, procedeu-se ao cálculo de subtração do valor da área utilizada ao valor da área total disponível, como se apresenta de seguida.

$$A_{total\ disponível} = 6500 \times 1500 = 9750000\ mm^2 \quad (VI-3)$$

$$A_{total\ utilizada} = 1770 \times 1070 + 1380 \times 820 + 1770 \times 1470 + 1340 \times 1070 + 1100 \times 740 + 1050 \times 205 + 430 \times 205 + 490 \times 205 + 1697 \times 205 \times 2 = 8974820\ mm^2 \quad (VI-4)$$

$$A_{desperdício} = 9750000 - 8974820 = 775180\ mm^2 \quad (VI-5)$$

De onde se obtêm, pelo seguinte cálculo, a percentagem correspondente à área útil da chapa adquirida.

$$A_{total\ disponível} = 9750000\ mm^2 \text{ --- --- --- } 100\%$$

$$A_{total\ utilizada} = 8974820\ mm^2 \text{ --- --- --- } \% \text{ útil}$$

$$\% \text{ útil} = \frac{8974820 \times 100}{9750000} \approx 92\% \quad (VI-6)$$

Obtém-se assim uma percentagem de área utilizada de cerca de 92%, correspondendo os restantes 8% a desperdício de material. Este material será posteriormente reciclado, juntamente com outras sobras de metal, de onde resulta uma pequena margem de lucro.

# **ANEXO VII**

**CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E PONDERAÇÃO  
PRESENTES NO PROTOCOLO DA C.M.L.**





Câmara Municipal de Lisboa

Anexo I

**CrITÉrios de Selecção e sua Ponderação**

|   | Pontuação              |
|---|------------------------|
| <b><i>I – Regularidade no Transporte</i></b>                | <b><i>(0 – 20)</i></b> |
| 1.1- Apresentação de um horário fixo semanal de 2ª a 6ª     | 15                     |
| 1.2- Transporte pontual                                     | 5                      |
| <b><i>II – Finalidade do Transporte</i></b>                 | <b><i>(0 – 20)</i></b> |
| 2.1- Universidade   | 8                      |
| 2.2- Formação Profissional                                  | 5                      |
| 2.3- Emprego  | 2                      |
| 2.4- Actividades Institucionais                             | 5                      |
| <b><i>III – Escalão Etário</i></b>                          | <b><i>(0 – 20)</i></b> |
| 3.1- 12 – 30 anos   | 10                     |
| 3.2 - 31 – 45 anos  | 9                      |
| 3.3 - 46 – Maiores de 46 anos                               | 1                      |
| <b><i>IV – Tipo de Deficiência</i></b>                      | <b><i>(0 – 30)</i></b> |
| 4.1- Motora:  |                        |
| 4.1.1- Desloca-se com cadeiras de rodas                     | 12                     |
| 4.1.2- Desloca-se com outro tipo de ajudas técnicas         | 10                     |
| 4.2- Visual   | 1                      |
| 4.3- Mental.  | 7                      |
| <b><i>V – Período de permanência em lista de espera</i></b> | <b><i>(0 – 10)</i></b> |
| 5.1- Até um ano;  | 4                      |
| 5.2- Mais de um ano.  | 6                      |





# **ANEXO VIII**

## **CATÁLOGOS COM INFORMAÇÕES TÉCNICAS**

|  |          |
|--|----------|
| CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS ..... | VIII-I   |
| INFORMAÇÕES FORNECIDAS POR MOVICONTROL .....   | VIII-II  |
| EQUIPAMENTO BOSCH SELECIONADO .....            | VIII-III |
| TUBAGEM HIDRÁULICA SELECIONADA .....           | VIII-IV  |



## **VIII-I. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS**



# UK & International Equivalent Grades

| Designation<br>EN 10025: 1993<br>Designation | Equivalent Former Designations in |                      |                     |              |             |          |          |          |           |            |                   | Japan<br>JIS G3101/6 |             |
|--|-----------------------------------|----------------------|---------------------|--------------|-------------|----------|----------|----------|-----------|------------|-------------------|----------------------|-------------|
|  | EN 10025:1990                     | Germany<br>Din 17100 | France<br>NFA 35501 | UK<br>BS4360 | Spain       | Italy    | Belgium  | Sweden   | Portugal  | Austria    | Norway<br>NS12101 |                      | USA<br>ASTM |
| 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                                     | 1.0038                            | 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       |
| S235J0                                       | 1.0014                            | Fe 360c              | St 37-3U            | E 24-3       | AE 235 D    | Fe 360C  | Ae 235-C |          | Fe 360-C  | St 360 C   | St 430 B          |                      |             |
| S235J2G3                                     | 1.0116                            | S Fe 360 D1          |                     |              |             | Fe 360D  | AE 238-D |          | Fe 360-D  | St 360D    | NS 12 142         |                      |             |
| S234J2G4                                     | 1.0117                            | Fe 360 D2            |                     |              |             |          |          |          |           | St 360D    | NS 12 124         |                      |             |
| S275JR                                       | 1.0044                            | Fe 430B              | ST 44-2             | E 28-2       | AE 275 B    | Fe 430 B | AE 255-B | 14 12-00 | Fe 430 B  | ST 430 B   | NS 12-142         | A573 Gr65            | SS400       |
| S275J0                                       | 1.0143                            | Fe 430C              | ST 44-3U            | E 28-3       | AE 275 C    | Fe430 C  | AE 255-C |          | Fe 430 C  | St 430 C   | NS 12-143         |                      |             |
| S275J2G3                                     | 1.0144                            | Fe 430D1             | ST 430 D1           | E 28-4       | 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       | AE 355B     | Fe 310B  | AE 355B  |          | Fe 510-B  |            |                   | A572Gr50             | SS490       |
| S355J0                                       | 1.0553                            | Fe 510 C             | ST 52-3U            | E 36-3       | 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            |              | AE 355D     | Fe 310D  | AE 355D  |          | Fe 510-D  | St 510D    | NS 12 153         | A578 Gr50            | 2WYGr50     |
| S355J2G4                                     | 1.0577                            | Fe 510 D2            |                     |              |             |          |          |          |           |            |                   |                      |             |
| S355K2G3                                     | 1.0595                            | Fe 510 DD1           |                     | E36-4        |             |          | AE355DD  |          | Fe 510DD  |            |                   | A533GrD              |             |
| S355K2G4                                     | 1.0598                            | Fe 510 DD2           |                     |              |             |          |          |          |           |            |                   |                      |             |
| E 295  | 1.0050                            | Fe 490-2             | ST 50-2             | A 50-2       | A 490       | Fe 480   | 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 660   | A690-2   | 16 55-00 | Fe 690-2  | St 690-2   |                   |                      |             |
|  |                                   |                      |                     |              |             |          |          | 16 55-01 |           |            |                   |                      |             |



## ASTM A572 Grade 50

---

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| <b>Category</b> | Steel       |
| <b>Class</b>    | Alloy steel |

## Composition

---

| Element | Weight %   |
|---------|------------|
| C       | 0.23 (max) |
| Mn      | 1.35 (max) |
| P       | 0.04       |
| S       | 0.05       |
| Si      | 0.30 (max) |
| Cu      | 0.20 (min) |

## Mechanical Properties

---

| Properties                                      |           | Conditions |           |
|---|-----------|------------|-----------|
|   |           | T (°C)     | Treatment |
| <b>Density</b> ( $\times 1000 \text{ kg/m}^3$ ) | 7.7-8.03  | 25         |           |
| <b>Poisson's Ratio</b>                          | 0.27-0.30 | 25         |           |
| <b>Elastic Modulus</b> (GPa)                    | 190-210   | 25         |           |





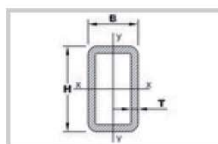


- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

- PRODUTOS »
- NOTÍCIAS
- GRUPO FERPINTA »
- SECTORES DE ACTIVIDADE
- EMPRESAS DO GRUPO
- FTE »
- QUALIDADE »

Inserir email...

TABELAS DE PRODUTOS



PERFIS OCOS RECTANGULARES

EN 10219-1/2  
S355 (EN 10025-2)  
Designação do aço

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

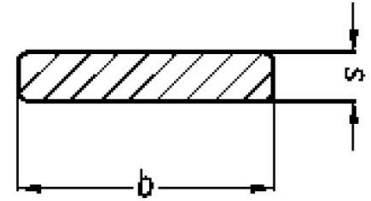
| Dimensões | Espessura (mm) | Peso (Kg/mt) | Tubos por Atado | Peso por Atado (Kg) | Secção (cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | W <sub>xx</sub> (cm <sup>3</sup> ) | i <sub>xx</sub> (cm) | I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | W <sub>yy</sub> (cm <sup>3</sup> ) | i <sub>yy</sub> (cm) |
|-----------|----------------|--------------|-----------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 30 x 20   | 3,0            | 1,89         | 180             | 2041                | 2,41                      | 2,41                              | 1,60                               | 1,00                 | 1,23                              | 1,23                               | 0,72                 |
| 40 x 20   | 2,0            | 1,68         | 162             | 1633                | 2,14                      | 4,05                              | 2,02                               | 1,38                 | 1,34                              | 1,34                               | 0,79                 |
| 40 x 20   | 2,5            | 2,03         | 162             | 1973                | 2,59                      | 4,69                              | 2,35                               | 1,35                 | 1,54                              | 1,54                               | 0,77                 |
| 40 x 20   | 3,0            | 2,36         | 162             | 2294                | 3,01                      | 5,21                              | 2,60                               | 1,32                 | 1,68                              | 1,68                               | 0,75                 |
| 40 x 25   | 3,0            | 2,60         | 135             | 2106                | 3,31                      | 6,24                              | 3,12                               | 1,37                 | 2,92                              | 2,33                               | 0,94                 |
| 40 x 27   | 3,0            | 2,69         | 135             | 2181                | 3,43                      | 6,65                              | 3,32                               | 1,39                 | 3,53                              | 2,61                               | 1,01                 |
| 40 x 30   | 3,0            | 2,83         | 130             | 2207                | 3,61                      | 7,27                              | 3,63                               | 1,42                 | 4,58                              | 3,05                               | 1,13                 |
| 45 x 25   | 3,0            | 2,83         | 144             | 2448                | 3,61                      | 8,48                              | 3,77                               | 1,53                 | 3,28                              | 2,63                               | 0,95                 |
| 45 x 30   | 3,0            | 3,07         | 128             | 2357                | 3,91                      | 9,80                              | 4,36                               | 1,58                 | 5,13                              | 3,42                               | 1,15                 |
| 45 x 35   | 3,0            | 3,30         | 120             | 2379                | 4,21                      | 11,13                             | 4,95                               | 1,63                 | 7,46                              | 4,26                               | 1,33                 |
| 45 x 35   | 4,0            | 4,20         | 108             | 2721                | 5,35                      | 13,24                             | 5,88                               | 1,57                 | 8,80                              | 5,03                               | 1,28                 |
| 50 x 20   | 3,0            | 2,83         | 128             | 2176                | 3,61                      | 9,51                              | 3,81                               | 1,62                 | 2,11                              | 2,11                               | 0,76                 |
| 50 x 25   | 3,0            | 3,07         | 128             | 2357                | 3,91                      | 11,17                             | 4,47                               | 1,69                 | 3,65                              | 2,92                               | 0,97                 |
| 50 x 30   | 2,0            | 2,31         | 120             | 1663                | 2,94                      | 9,54                              | 3,81                               | 1,80                 | 4,29                              | 2,86                               | 1,21                 |
| 50 x 30   | 2,5            | 2,82         | 120             | 2030                | 3,59                      | 11,30                             | 4,52                               | 1,77                 | 5,05                              | 3,37                               | 1,19                 |
| 50 x 30   | 3,0            | 3,30         | 120             | 2376                | 4,21                      | 12,80                             | 5,13                               | 1,75                 | 5,70                              | 3,80                               | 1,16                 |
| 50 x 30   | 4,0            | 4,20         | 108             | 2722                | 5,35                      | 15,30                             | 6,10                               | 1,69                 | 6,69                              | 4,46                               | 1,12                 |
| 50 x 35   | 3,0            | 3,54         | 108             | 2294                | 4,51                      | 14,49                             | 5,80                               | 1,79                 | 8,23                              | 4,70                               | 1,35                 |
| 50 x 40   | 3,0            | 3,78         | 99              | 2243                | 4,81                      | 16,15                             | 6,46                               | 1,83                 | 11,35                             | 5,67                               | 1,54                 |
| 50 x 40   | 4,0            | 4,83         | 88              | 2549                | 6,15                      | 19,49                             | 7,80                               | 1,78                 | 13,60                             | 6,80                               | 1,49                 |
| 60 x 20   | 3,0            | 3,30         | 108             | 2142                | 4,21                      | 15,62                             | 5,21                               | 1,93                 | 2,55                              | 2,55                               | 0,78                 |
| 60 x 25   | 3,0            | 3,54         | 105             | 2230                | 4,51                      | 18,06                             | 6,02                               | 2,00                 | 4,38                              | 3,50                               | 0,99                 |
| 60 x 30   | 3,0            | 3,78         | 98              | 2220                | 4,81                      | 20,50                             | 6,83                               | 2,06                 | 6,77                              | 4,52                               | 1,19                 |
| 60 x 30   | 4,0            | 4,83         | 88              | 2549                | 6,15                      | 24,70                             | 8,23                               | 2,00                 | 8,00                              | 5,34                               | 1,14                 |
| 60 x 40   | 2,0            | 2,93         | 88              | 1547                | 3,74                      | 18,40                             | 6,14                               | 2,22                 | 9,83                              | 4,92                               | 1,62                 |
| 60 x 40   | 2,5            | 3,60         | 88              | 1901                | 4,59                      | 22,10                             | 7,36                               | 2,19                 | 11,70                             | 5,87                               | 1,60                 |
| 60 x 40   | 3,0            | 4,25         | 54              | 1377                | 5,41                      | 25,40                             | 8,46                               | 2,17                 | 13,40                             | 6,72                               | 1,58                 |
| 60 x 40   | 4,0            | 5,45         | 54              | 1766                | 6,95                      | 31,00                             | 10,30                              | 2,11                 | 16,30                             | 8,14                               | 1,53                 |
| 60 x 40   | 5,0            | 6,56         | 48              | 1889                | 8,36                      | 35,30                             | 11,80                              | 2,06                 | 18,40                             | 9,21                               | 1,48                 |
| 60 x 40   | 6,0            | 7,56         | 48              | 2177                | 9,63                      | 38,49                             | 12,83                              | 2,00                 | 19,74                             | 9,87                               | 1,43                 |
| 60 x 50   | 3,0            | 4,72         | 48              | 1359                | 6,01                      | 30,26                             | 10,09                              | 2,24                 | 22,74                             | 9,09                               | 1,95                 |
| 60 x 50   | 4,0            | 6,08         | 48              | 1752                | 7,75                      | 37,27                             | 12,42                              | 2,19                 | 27,87                             | 11,15                              | 1,90                 |
| 70 x 30   | 3,0            | 4,25         | 84              | 2140                | 5,41                      | 30,57                             | 8,74                               | 2,38                 | 7,87                              | 5,25                               | 1,21                 |
| 70 x 30   | 4,0            | 5,46         | 54              | 1768                | 6,95                      | 37,23                             | 10,64                              | 2,31                 | 9,37                              | 6,25                               | 1,16                 |
| 70 x 40   | 3,0            | 4,72         | 72              | 2038                | 6,01                      | 37,31                             | 10,66                              | 2,49                 | 15,46                             | 7,73                               | 1,60                 |
| 70 x 40   | 4,0            | 6,08         | 54              | 1971                | 7,75                      | 45,95                             | 13,13                              | 2,44                 | 18,80                             | 9,40                               | 1,56                 |
| 70 x 40   | 5,0            | 7,35         | 42              | 1852                | 9,36                      | 52,88                             | 15,11                              | 2,38                 | 21,37                             | 10,69                              | 1,51                 |
| 70 x 40   | 6,0            | 8,50         | 42              | 2140                | 10,80                     | 59,80                             | 16,80                              | 2,32                 | 23,24                             | 11,60                              | 1,48                 |



# Barras Rectangulares

Norma Dimensional DIN 1017 parte 1  
(Euronorm 58)

Norma Material DIN 17100 / EN 10025



| largura<br>(b) | Espessura (s) |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
|----------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
|                | 3             | 5     | 6     | 6,5   | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12   | 13   | 14   |
| Massa - Kg/m   |               |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| 10             |               | 0,393 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    |
| 11             |               | 0,432 | 0,519 | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    |
| 12             | 0,283         | 0,472 | 0,566 | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    |
| 13             |               | 0,511 | 0,613 | 0,664 | 0,715 | 0,817 | 0,920 | -     | -    | -    | -    | -    |
| 14             |               | 0,550 | 0,660 | -     | 0,770 | 0,880 | -     | -     | -    | -    | -    | -    |
| 15             |               | 0,590 | 0,707 | 0,825 | 0,943 | -     | -     | 1,18  | -    | -    | -    | -    |
| 16             | 0,377         | 0,629 | 0,755 | 0,817 | 0,880 | 1,01  | 1,13  | 1,26  | 1,38 | -    | -    | -    |
| 17             |               | 0,668 | 0,802 | -     | 0,935 | 1,07  | -     | -     | 1,47 | -    | -    | -    |
| 18             |               | 0,707 | 0,849 | 0,920 | 0,990 | 1,13  | 1,27  | 1,41  | 1,56 | -    | -    | -    |
| 19             |               | 0,747 | 0,896 | -     | 1,05  | 1,19  | 1,34  | -     | -    | -    | 1,94 | -    |
| 20             | 0,471         | 0,786 | 0,943 | 1,02  | 1,10  | 1,26  | 1,41  | 1,57  | -    | 1,89 | 2,04 | -    |
| 22             |               | 0,865 | 1,04  | 1,12  | 1,21  | 1,38  | -     | 1,73  | 1,90 | 2,08 | 2,25 | 2,42 |
| 25             | 0,589         | 0,983 | 1,18  | 1,28  | 1,38  | 1,57  | -     | 1,97  | -    | 2,36 | 2,55 | 2,75 |
| 26             |               | 1,02  | 1,23  | 1,33  | 1,43  | 1,63  | -     | 2,04  | -    | 2,45 | 2,66 | 2,86 |
| 28             |               | 1,1   | 1,32  | 1,43  | 1,54  | 1,76  | -     | 2,20  | -    | 2,64 | 2,86 | 3,08 |
| 30             | 0,707         | 1,18  | 1,41  | 1,53  | 1,65  | 1,89  | 2,12  | 2,36  | -    | 2,83 | 3,07 | 3,30 |
| 32             |               | 1,26  | 1,51  | 1,63  | -     | 2,01  | -     | 2,52  | -    | 3,02 | 3,27 | 3,52 |
| 35             |               | 1,38  | 1,65  | 1,79  | 1,93  | 2,20  | -     | 2,75  | -    | 3,30 | 3,58 | 3,85 |
| 38             |               | 1,49  | 1,79  | 1,94  | -     | 2,39  | -     | 2,99  | -    | 3,58 | 3,88 | 4,18 |
| 40             |               | 1,57  | 1,89  | 2,04  | 2,20  | 2,52  | 2,83  | 3,14  | -    | 3,77 | 4,09 | 4,40 |
| 45             |               | 1,38  | 1,65  | 1,79  | 1,93  | 2,20  | -     | 2,75  | -    | 3,30 | 3,58 | 3,85 |
| 50             |               | 1,97  | 2,36  | 2,55  | 2,75  | 3,14  | 3,54  | 3,93  | -    | 4,72 | 5,11 | 5,50 |
| 55             |               | 2,16  | 2,59  | 2,81  | 3,03  | 3,46  | -     | 4,32  | -    | 5,19 | 5,62 | 6,05 |
| 60             |               | 2,36  | 2,83  | 3,07  | 3,30  | 3,77  | 4,24  | 4,72  | -    | 5,66 | 6,13 | -    |
| 65             |               | 2,55  | 3,07  | 3,32  | -     | 4,09  | 4,60  | 5,11  | -    | 6,13 | 6,64 | -    |
| 70             |               | 2,75  | 3,30  | 3,58  | 3,85  | 4,40  | -     | 5,50  | -    | 6,60 | 7,15 | -    |
| 75             |               | 2,95  | 3,54  | 3,83  | -     | 4,72  | -     | 5,90  | -    | 7,07 | 7,66 | -    |
| 80             |               | 3,14  | 3,77  | 4,09  | 4,40  | 5,03  | -     | 6,29  | 6,92 | 7,55 | 8,17 | -    |
| 90             |               | 3,54  | 4,24  | 4,60  | -     | 5,66  | 6,37  | 7,07  | 7,78 | 8,49 | 9,20 | -    |
| 100            |               | 3,93  | 4,72  | 5,11  | -     | 6,29  | -     | 7,86  | 8,65 | 9,43 | 10,2 | 11,0 |
| 110            |               | -     | -     | -     | -     | 6,92  | 7,78  | 8,65  | 9,51 | 10,4 | 11,2 | 12,1 |
| 120            |               | -     | -     | -     | -     | 7,55  | -     | 9,43  | 10,4 | 11,3 | 12,3 | 13,2 |
| 130            |               | -     | -     | -     | -     | 8,17  | 9,20  | 10,2  | 11,2 | 12,3 | 13,3 | 14,3 |
| 140            |               | -     | -     | -     | -     | 8,80  | -     | 11,0  | -    | 13,2 | -    | 15,4 |
| 150            |               | -     | -     | -     | -     | 9,43  | -     | 11,8  | 13,0 | 14,1 | 15,3 | 16,5 |
| 160            |               |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| 200            |               |       |       |       |       |       |       | 15,70 |      |      |      |      |
| 220            |               |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
| 250            |               |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |



HOME [A EMPRESA](#) [PRODUTOS](#) [SERVIÇOS](#) [EMBALAGENS](#) [TABELAS](#) [CONTACTOS](#) [ENGLISH](#)

## ESTRUTURAIAS



“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<br>Espessuras ≤ 10 mm | S235JR<br>S275JR<br>S355JR<br>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] |           |        |
| 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



## **VIII-II. INFORMAÇÕES FORNECIDAS POR MOVICONTROL**





Materials:

Shell: St 52.0 DIN 1629  
Yield Strength 345 N/mm<sup>2</sup>  
Tensile Strength 500 – 650 N/mm<sup>2</sup>

Rod: 1.4057 (X22 Cr Ni 17)  
Yield Strength 600 N/mm<sup>2</sup>  
Tensile Strength 800 – 950 N/mm<sup>2</sup>

Front flange, front and rear covers, piston:

St 52.3 DIN 17100  
Yield Strength 315 N/mm<sup>2</sup>  
Tensile Strength 480 – 630 N/mm<sup>2</sup>

**HANS HOLLAND . HYDRAULIC . 6228 ELTVILLE**



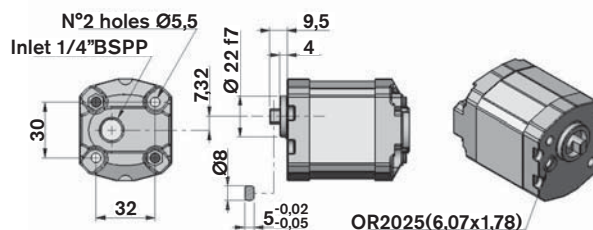
### **VIII-III. EQUIPAMENTO BOSCH SELECIONADO**



Please note: all pumps have anti-clockwise rotation.

### Gear pumps group 05 for ME – standard version

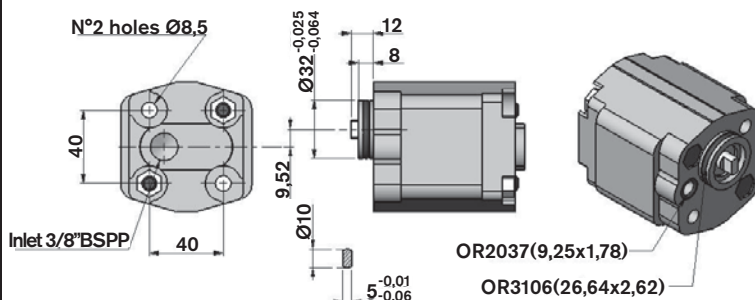
| Code | Displacement (cc/rev) | Flow (l/min) @1500 rpm | P2 (bar) | P3 (bar) |
|------|-----------------------|------------------------|----------|----------|
| L1   | 0,18                  | 0,27                   | 190      | 230      |
| L2   | 0,25                  | 0,37                   | 190      | 230      |
| L3   | 0,50                  | 0,75                   | 190      | 230      |
| L4   | 0,62                  | 0,93                   | 190      | 230      |
| L5   | 0,75                  | 1,12                   | 190      | 230      |
| L6   | 1,00                  | 1,50                   | 190      | 230      |
| L7   | 1,25                  | 1,87                   | 190      | 230      |
| L8   | 1,50                  | 2,25                   | 190      | 230      |



P2= Intermittent max. pressure P3= Peak max. pressure (max. 2 seconds)

### Gear pumps group 1 for K-KE-KS – standard version

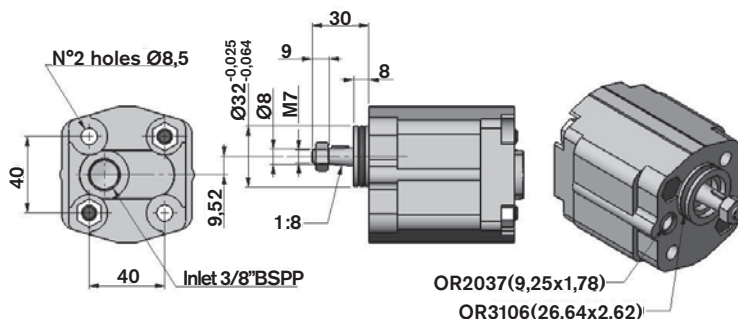
| Code | Displacement (cc/rev) | Flow (l/min) @1500 rpm | P2 (bar) | P3 (bar) |
|------|-----------------------|------------------------|----------|----------|
| 10   | 0,82                  | 1,3                    | 230      | 270      |
| 11   | 1,1                   | 1,6                    | 230      | 270      |
| 12   | 1,6                   | 2,4                    | 230      | 270      |
| 13   | 2,1                   | 3,1                    | 230      | 270      |
| 14   | 2,7                   | 3,9                    | 230      | 270      |
| 15   | 3,2                   | 4,8                    | 210      | 250      |
| 16   | 3,7                   | 5,5                    | 210      | 250      |
| 17   | 4,2                   | 6,3                    | 210      | 250      |
| 18   | 4,8                   | 7,2                    | 190      | 230      |
| 19   | 5,8                   | 8,7                    | 190      | 230      |
| 20   | 8,0                   | 11,8                   | 160      | 200      |
| 21   | 9,9                   | 14,8                   | 150      | 190      |



P2= Intermittent max. pressure P3= Peak max. pressure (max. 2 seconds)

### Gear pumps group 1 for K – elastic couplings version with tapered shaft

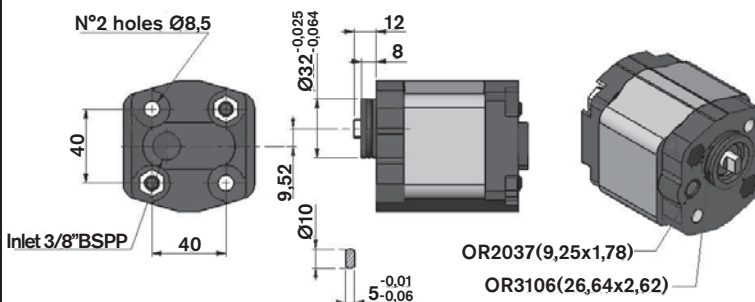
| Code  | Displacement (cc/rev) | Flow (l/min) @1500 rpm | P2 (bar) | P3 (bar) |
|-------|-----------------------|------------------------|----------|----------|
| 10CON | 0,82                  | 1,3                    | 230      | 270      |
| 11CON | 1,1                   | 1,6                    | 230      | 270      |
| 12CON | 1,6                   | 2,4                    | 230      | 270      |
| 13CON | 2,1                   | 3,1                    | 230      | 270      |
| 14CON | 2,7                   | 3,9                    | 230      | 270      |
| 15CON | 3,2                   | 4,8                    | 210      | 250      |
| 16CON | 3,7                   | 5,5                    | 210      | 250      |
| 17CON | 4,2                   | 6,3                    | 210      | 250      |
| 18CON | 4,8                   | 7,2                    | 190      | 230      |
| 19CON | 5,8                   | 8,7                    | 190      | 230      |
| 20CON | 8,0                   | 11,8                   | 160      | 200      |
| 21CON | 9,9                   | 14,8                   | 150      | 190      |



P2= Intermittent max. pressure P3= Peak max. pressure (max. 2 seconds)

### High pressure gear pumps group 1 for K-KE-KS – cast iron covers version for high pressure applications

| Code | Displacement (cc/rev) | Flow (l/min) @1500 rpm | P2 (bar) | P3 (bar) |
|------|-----------------------|------------------------|----------|----------|
| 11GH | 1                     | 1,5                    | 300      | 350      |
| 12GH | 1,6                   | 2,4                    | 300      | 350      |
| 13GH | 2                     | 3                      | 300      | 350      |
| 14GH | 2,5                   | 3,7                    | 300      | 350      |
| 15GH | 3,15                  | 4,7                    | 280      | 330      |
| 16GH | 3,65                  | 5,5                    | 250      | 300      |
| 17GH | 4,2                   | 6,3                    | 230      | 280      |
| 18GH | 5                     | 7,5                    | 210      | 250      |
| 19GH | 6,1                   | 9,1                    | 210      | 250      |
| 20GH | 7,4                   | 11,1                   | 180      | 230      |

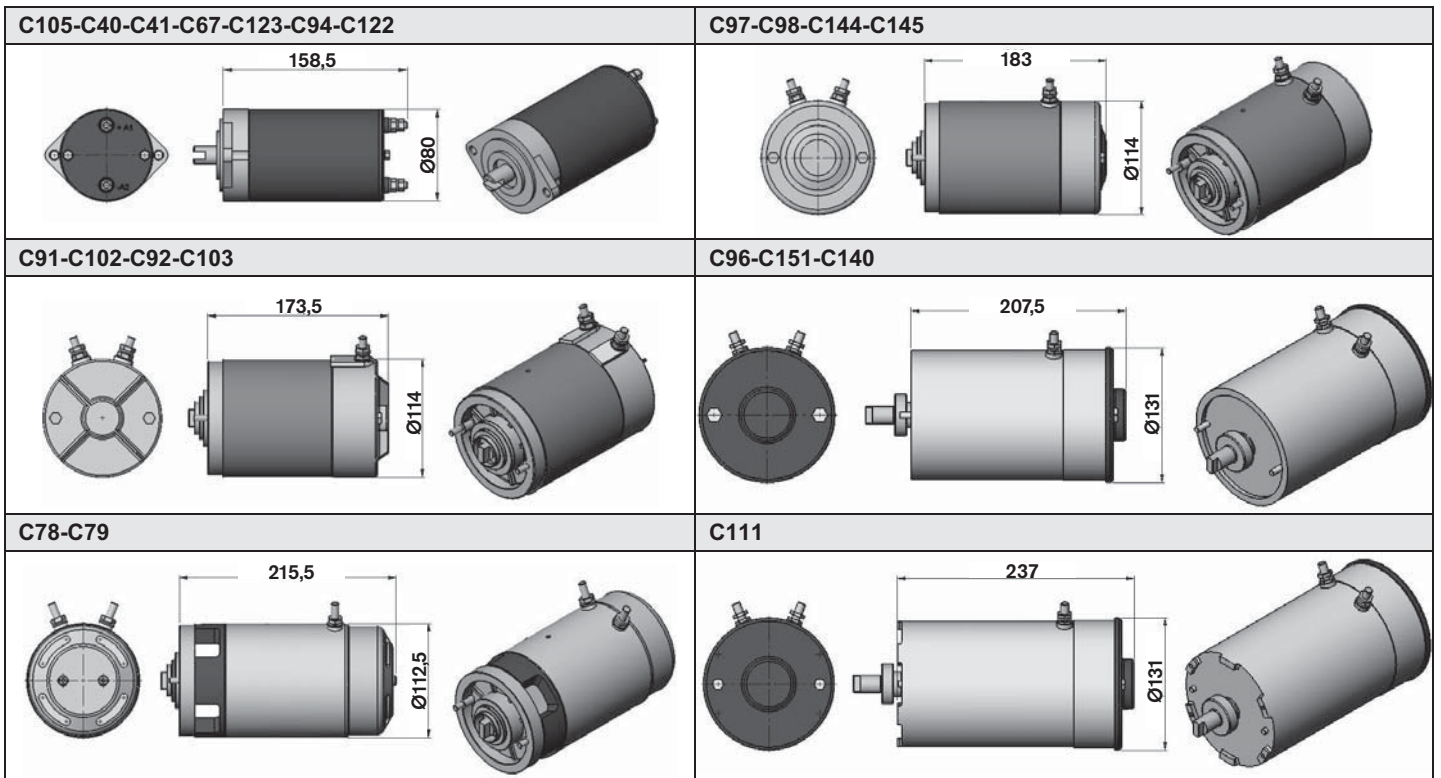


P2= Intermittent max. pressure P3= Peak max. pressure (max. 2 seconds)



**2** *Electric motor*

| Code  | Voltage (V) | Power (W) | Duty cycles S3%S2min | Thermal switch | Protection Index | Direction | Code        | Voltage (V) | Power (W) | Duty cycles S3%S2min | Thermal switch | Protection Index | Direction |
|---|-------------|-----------|----------------------|----------------|------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|----------------------|----------------|------------------|-----------|
| <i>Direct current motors</i>                  |             |           |                      |                |                  |           |             |             |           |                      |                |                  |           |
| <b>C105</b>                                   | 12          | 150       | 50% 25min            | no             | IP65             | ← →       | <b>C41</b>  | 24          | 500       | 17% 5min             | no             | IP54             | ← →       |
| <b>C40</b>                                    | 12          | 500       | 17% 5min             | no             | IP54             | ← →       | <b>C94</b>  | 24          | 800       | 8% 2,5min            | no             | IP54             | ← →       |
| <b>C67</b>                                    | 12          | 800       | 9% 4min              | no             | IP54             | ← →       | <b>C122</b> | 24          | 800       | 10% 4min             | yes            | IP54             | →         |
| <b>C123</b>                                   | 12          | 800       | 9% 4min              | yes            | IP54             | →         | <b>C97</b>  | 24          | 2000      | 5% 2min              | no             | IP54             | →         |
| <b>C98</b>                                    | 12          | 1500      | 8% 2min              | no             | IP54             | →         | <b>C145</b> | 24          | 2000      | 5% 2min              | yes            | IP54             | →         |
| <b>C144</b>                                   | 12          | 1500      | 8% 2min              | yes            | IP54             | →         | <b>C92</b>  | 24          | 2200      | 5% 2min              | no             | IP54             | →         |
| <b>C91</b>                                    | 12          | 1600      | 10% 2min             | no             | IP54             | →         | <b>C103</b> | 24          | 2200      | 5% 2min              | yes            | IP54             | →         |
| <b>C102</b>                                   | 12          | 1600      | 10% 2min             | yes            | IP54             | →         | <b>C151</b> | 24          | 3000      | 8% 4min              | no             | IP54             | →         |
| <b>C96</b>                                    | 12          | 2400      | 8% 1min              | yes            | IP54             | →         | <b>C140</b> | 24          | 3000      | 8% 4min              | yes            | IP54             | →         |
| <i>Direct current motors with ventilation</i> |             |           |                      |                |                  |           |             |             |           |                      |                |                  |           |
| <b>C78</b>                                    | 12          | 1500      | 14% 4min             | no             | IP23             | →         |             |             |           |                      |                |                  |           |
| <b>C79</b>                                    | 24          | 2000      | 10% 4,5min           | no             | IP23             | →         |             |             |           |                      |                |                  |           |
| <b>C111</b>                                   | 24          | 3000      | 20% 6min             | no             | IP12             | →         |             |             |           |                      |                |                  |           |



| <i>Starting relay high performance</i> |               |                     |                        | <i>Starting relay standard performance</i> |               |                     |                        | <i>Plastic protection</i> |     |
|--|---------------|---------------------|------------------------|--|---------------|---------------------|------------------------|---------------------------|-----|
| Code                                   | Voltage (V)   | Nominal current (A) | Short time current (A) | Code                                       | Voltage (V)   | Nominal current (A) | Short time current (A) | Code                      |     |
| <b>A</b>                               | Without relay |                     |                        | <b>A</b>                                   | Without relay |                     |                        | <b>0</b>                  | No  |
| <b>C</b>                               | 12            | 150                 | 350                    | <b>G</b>                                   | 12            | 150                 | 350                    | <b>1</b>                  | Yes |
| <b>E</b>                               | 24            | 150                 | 350                    | <b>H</b>                                   | 24            | 150                 | 350                    |                           |     |

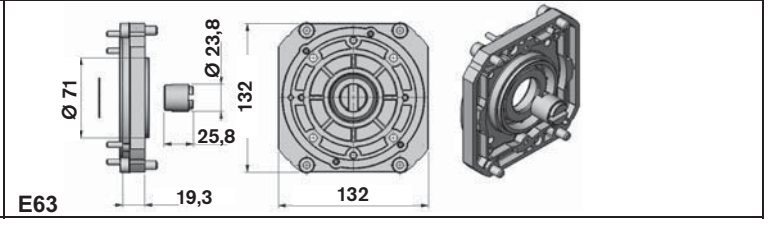
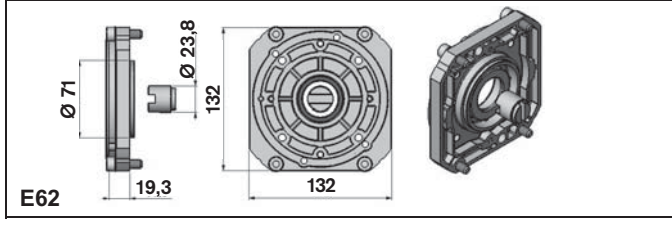
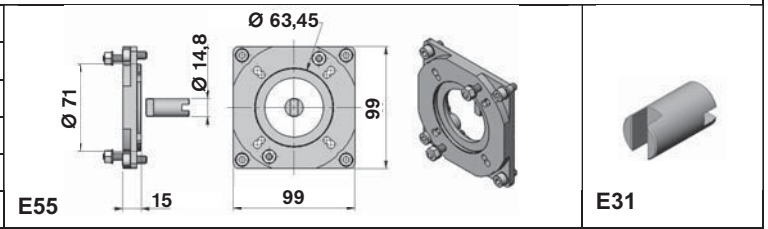
Only for C97-C98-C144-C145-C91-C102-C92-C103





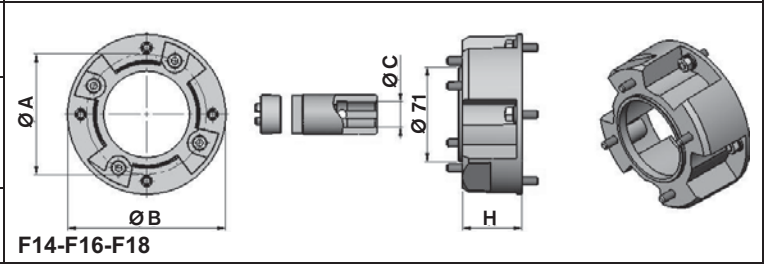
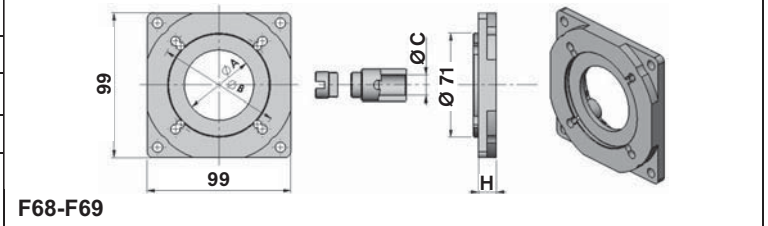
Junctions for power modules K

| D.C. Motors |   |
|-------------|---|
| Code        | Motor codes                                 |
| E55         | C40-C41-C67-C94-C105-C122-C123              |
| E31         | C78-C79-C91-C92-C97-C98-C102-C103-C144-C145 |
| E62         | C96-C151-C140                               |
| E63         | C111  |



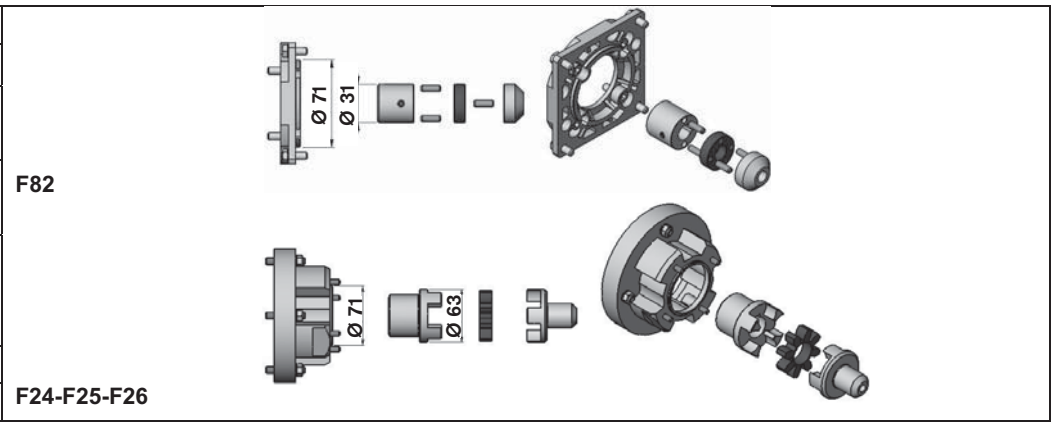
A.C. Motors

| Standard couplings |                   |          |        |        |        |        |
|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|--------|--------|
| Code               | Motor codes       | Size IEC | A (mm) | B (mm) | C (mm) | H (mm) |
| F69                | 201-201M-401-401M | 63       | 60     | -      | 11     | 12,5   |
| F68                | 202-202M-402-402M | 71       | 70     | -      | 14     | 12,5   |
|                    | 203-203M-403-403M |          |        |        |        |        |
| F14                | 204-204M-404-404M | 80       | 80     | 120    | 19     | 45     |
|                    | 205-205M-405-405M |          |        |        |        |        |
| F16                | 206-206M-406-406M | 90       | 95     | 140    | 24     | 57     |
|                    | 207-207M-407-407M |          |        |        |        |        |
|                    | 208-208M-408-408M |          |        |        |        |        |
| F18                | 409               | 100      | 110    | 160    | 28     | 67     |
|                    | 210-410           | 112      |        |        |        |        |



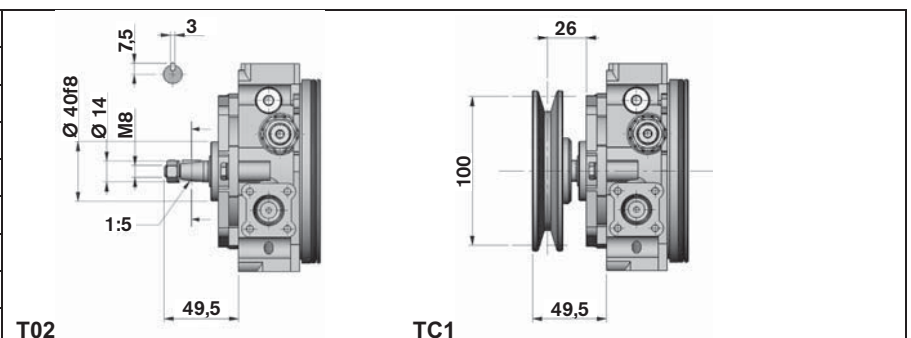
Elastic couplings

| Code | Motor codes       | Size IEC |
|------|-------------------|----------|
| F82  | 202-202M-402-402M | 71       |
|      | 203-203M-403-403M |          |
| F24  | 204-204M-404-404M | 80       |
|      | 205-205M-405-405M |          |
| F25  | 206-206M-406-406M | 90       |
|      | 207-207M-407-407M |          |
|      | 208-208M-408-408M |          |
| F26  | 409               | 100      |
|      | 210-410           | 112      |



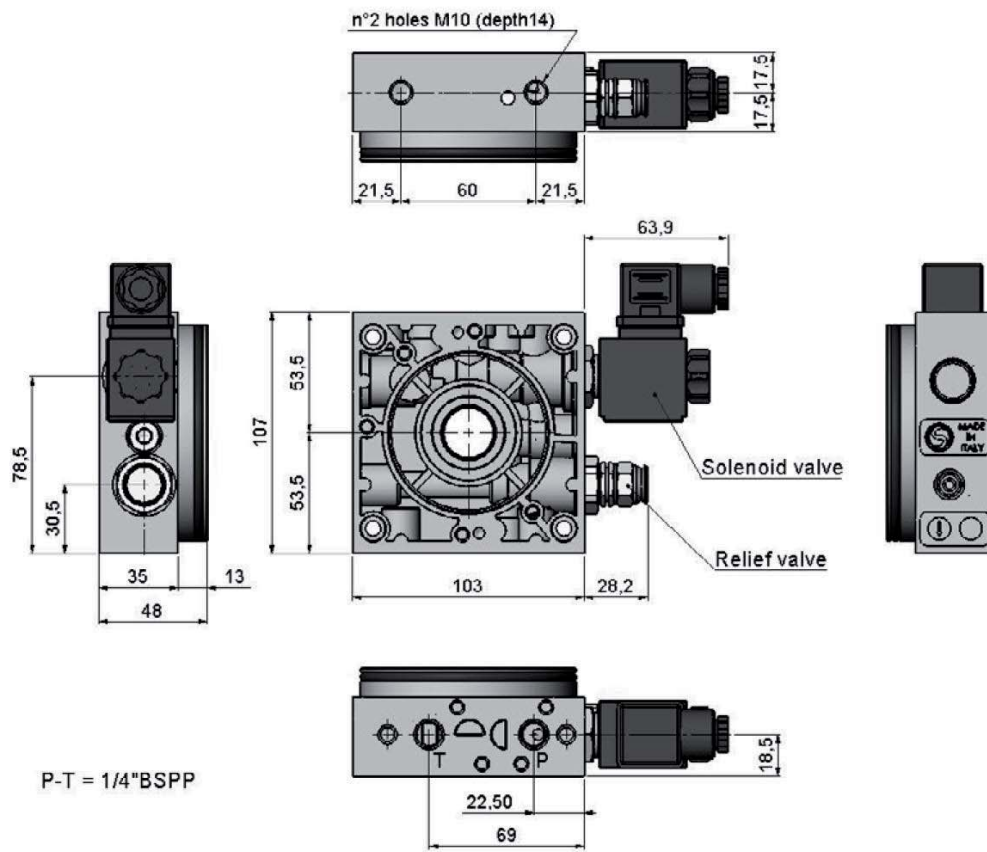
Alternative drives

| Code | Description                            |
|------|--|
| T02  | Direct drive                           |
| TC1  | Direct drive with "A" belt pulley Ø100 |
|      |  |
|      |  |
|      |  |
|      |  |





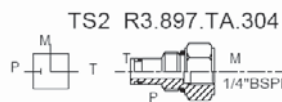
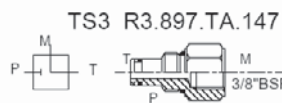
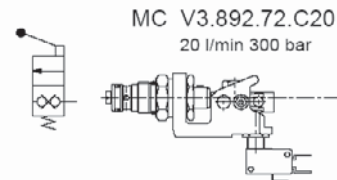
M52



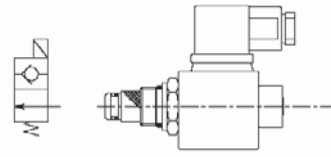


| Relief valve |   | Pressure range (bar) |
|--------------|---|----------------------|
| VMP15        | W | 5 ÷ 50               |
|              | Y | 30 ÷ 120             |
|              | Z | 80 ÷ 250             |

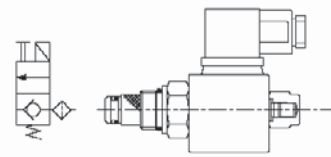
M52-M53 with valves



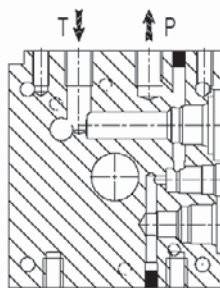
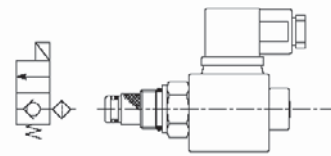
EA V3.896.74.A20 30 l/min 250 bar



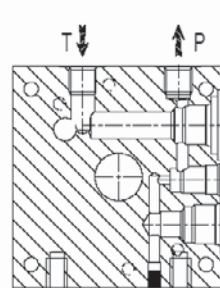
EE V3.896.69.E20 40 l/min 350 bar



EC V3.896.69.A20 40 l/min 350 bar

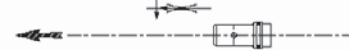


Central manifold M53

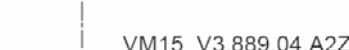


Central manifold M52

STF12P V3.895.36.00Z



VU V3.892.73.000

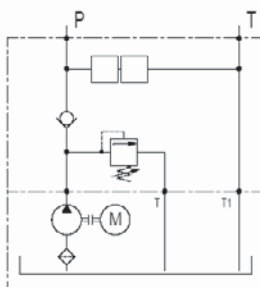


VM15 V3.889.04.A2Z

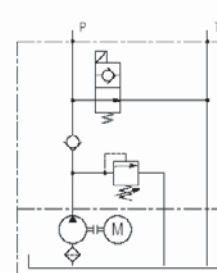
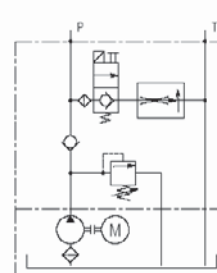
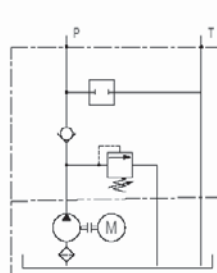


Sealing cap R3.897.PB.001

Manifold hydraulic diagram



Main realizable diagrams





#### **VIII-IV. TUBAGEM HIDRÁULICA SELECIONADA**





# Balflex<sup>®</sup> DIN EN 853 1SN / SAE 100R1AT



## Balflex<sup>®</sup> DIN EN 853 1SN / SAE 100R1AT – 10.1002.

According to ISO 1436 / DIN EN 853 type 1SN / SAE J517 type SAE 100R1 AT

**High pressure, single steel braid reinforced hydraulic hose**



- Inner tube:** seamless oil resistant synthetic rubber
- Reinforcement:** 1 high tensile steel wire braid
- Outer tube:** black, oil, weather and abrasion resistant synthetic rubber
- Safety factor:** 4: 1
- Application:** petroleum base hydraulic fluids
- Temperature range:** - 40°C (- 40°F) + 100°C (+ 212°F); Intermittent service: + 120°C (+ 248°F)  
Max. temperature recommended for water base hydraulic fluids: + 70°C (+ 158°F)  
Max. temperature recommended for air: + 60°C (+ 140°F)
- Couplings:** Balflex<sup>®</sup> crimped fittings 23 serie with ferrules 20 serie. Multicrimp P23 serie

| part number | Ø nom. | dash size | Ø internal |      | Ø external |      | working pressure |      | min. burst pressure |       | min. bend radius |      | weight |
|-------------|--------|-----------|------------|------|------------|------|------------------|------|---------------------|-------|------------------|------|--------|
|             |        |           | mm         | inch | mm         | inch | MPa              | PSI  | MPa                 | PSI   | mm               | inch |        |
| 10.1002.03  | 3/16"  | - 3       | 4,8        | 0.19 | 11,8       | 0.47 | 25.0             | 3625 | 100.0               | 14500 | 89               | 3.5  | 0,23   |
| 10.1002.04  | 1/4"   | - 4       | 6,3        | 0.25 | 13,4       | 0.53 | 22.5             | 3260 | 90.0                | 13040 | 100              | 3.9  | 0,26   |
| 10.1002.05  | 5/16"  | - 5       | 8,0        | 0.31 | 15,0       | 0.59 | 21.5             | 3115 | 85.0                | 12460 | 114              | 4.5  | 0,30   |
| 10.1002.06  | 3/8"   | - 6       | 9,5        | 0.38 | 17,4       | 0.69 | 18.0             | 2610 | 72.0                | 10440 | 127              | 5.0  | 0,36   |
| 10.1002.08  | 1/2"   | - 8       | 12,7       | 0.50 | 20,7       | 0.81 | 16.0             | 2320 | 64.0                | 9280  | 178              | 7.0  | 0,46   |
| 10.1002.10  | 5/8"   | - 10      | 16,0       | 0.63 | 23,8       | 0.93 | 13.0             | 1885 | 52.0                | 7540  | 200              | 7.9  | 0,56   |
| 10.1002.12  | 3/4"   | - 12      | 19,0       | 0.75 | 27,8       | 1.09 | 10.5             | 1520 | 42.0                | 6080  | 240              | 9.4  | 0,74   |
| 10.1002.16  | 1"     | - 16      | 25,4       | 1.00 | 35,9       | 1.40 | 8.8              | 1275 | 35.0                | 5100  | 300              | 11.8 | 1,06   |
| 10.1002.20  | 1.1/4" | - 20      | 32,0       | 1.25 | 43,8       | 1.71 | 6.3              | 910  | 25.0                | 3640  | 419              | 16.5 | 1,36   |
| 10.1002.24  | 1.1/2" | - 24      | 38,0       | 1.50 | 51,1       | 1.99 | 5.0              | 725  | 20.0                | 2900  | 500              | 19.7 | 1,65   |
| 10.1002.32  | 2"     | - 32      | 50,8       | 2.00 | 64,5       | 2.52 | 4.0              | 580  | 16.0                | 2320  | 630              | 24.8 | 2,05   |
| 10.1002.40  | 2.1/2" | - 40      | 63,5       | 2.50 | 79,0       | 3.11 | 3.0              | 435  | 12.0                | 1740  | 760              | 30.4 | 2,89   |
| 10.1002.48  | 3"     | - 48      | 76,2       | 3.00 | 92,0       | 3.62 | 2.0              | 290  | 8.0                 | 1160  | 900              | 36.0 | 3,43   |

Note: Sizes - 40 (2.1/2") and - 48 (3") not included in the standards.

Balflex<sup>®</sup> hydraulic hose DIN EN 853 1SN / SAE 100R1AT has a very superior working and burst pressure compared with only SAE 100R1AT

COVER: U.S. MSHA APPROVED

Construction characteristics and dimensions may be changed at any time without prior notice.

The data contained herein is information purposes only and does not enlarge, amend or imply any warranty other than provided by the manufacturer with the product. Any use of the product not in conformance with the manufacturer's instructions may be dangerous.

Only items in this catalogue are carried in stock. Some items are subjected to minimum quantities or sold only in multiples of standard quantities. Please refer to the price list or contact our commercial department.

**Balflex<sup>®</sup> – The European Technology**

