

Estudo Estrutural do Arco de Segurança (RollBar) de uma Viatura de Competição

André de Jesus da Silva Costa Ferreira

Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. José Luís Soares Esteves



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho 2011

Aos meus Pais...

Resumo

O trabalho desenvolvido nesta dissertação insere-se no âmbito da análise de tensões e deslocamentos de estruturas de segurança de viaturas de competição. De forma particular, neste trabalho é realizado um estudo de um arco de segurança utilizado numa viatura de competição de marca e modelo Fiat Uno 45S que é utilizado na competição Desafio Único FEUP 1, para o qual são calculadas as tensões e os deslocamentos a que o arco fica sujeito quando nele são aplicados os ensaios de homologação descritos pela FIA (*Federation Internationale de l'Automobile*).

Numa primeira fase do trabalho desta dissertação é abordado o artigo 253 do anexo “J” da FPAK (Federação Portuguesa de Automobilismo e Karting) que apresenta todos os pormenores que o arco de segurança deve cumprir e anexo “J” *Technique* da FIA que apresenta os ensaios de carga estática para homologação. Numa segunda fase apresenta-se o caso de aplicação, a caracterização do seu material bem como as características que estão em desacordo com o anexo “J”. Posteriormente mostra-se as diferentes fases de concepção do desenho da estrutura realizado no programa SolidWorks e alguns estudos efectuados ao nível de elementos finitos com a ferramenta Simulation do programa em questão.

Numa última fase são efectuados os ensaios na estrutura através da ferramenta de elementos finitos Simulation do SolidWorks onde se calcularam as tensões e os deslocamentos a que a estrutura fica sujeita quando são realizados os ensaios para homologação.

Abstract

The work developed in this dissertation is related to analysis of stresses and displacements of structures safety car racing. In a particular way, this work is a study of a security arc used in racing car model Fiat Uno 45 S which is used in the competition Desafio Único FEUP 1, and calculated the stresses and displacements that the arc is subject when it is applied to the approval tests described by the FIA (Federation Internationale de l'Automobile).

In the first part of the dissertation is approached the article 253 of Annex “J” of FPAK (Portuguese Federation of Automobile and Karting) that provides all the details that the security arc must meet and Annex “J” FIA *Technique* which presents the static load tests for approval. The second part presents the case of application, the characterization of their material as well as features that are not in accordance with Annex "J". Later it is shown the different conception stages of structure design performed in SolidWorks program and some studies on finite elements with the Simulation SolidWorks tool.

At a later stage, tests are made in the security structure by finite element tool SolidWorks Simulation where are calculated stresses and displacements which the structure is subject according to the tests for approval.

Agradecimentos

Em primeiro lugar ao meu orientador, Eng^o José Luís Soares Esteves por toda a disponibilidade e orientação durante a realização desta dissertação.

Ao Sr. Joaquim Soares pela disponibilidade prestada relacionada com noções de construção de um arco de segurança e fornecimento de informações relacionadas com o arco de segurança em questão.

Agradeço aos meus colegas e amigos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela amizade e pelo incentivo.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objectivos	1
1.3. Revisão Bibliográfica.....	2
1.3.1. Segurança Automóvel.....	2
1.3.2. Arcos de Segurança.....	3
2. Arco de Segurança – Regulamento de acordo com o Anexo “J” da FPAK.....	6
2.1. Construção do Arco – Estrutura Base	6
2.2. Elementos e Reforços Obrigatórios	7
2.2.1. Elemento Diagonal.....	7
2.2.2. Elementos das Portas	8
2.2.3. Reforço do Tejadilho	9
2.2.4. Reforço do Montante do Pára-brisas	10
2.2.5. Reforços de Ângulos e Junções	10
2.3. Elementos e Reforços Facultativos.....	11
2.4. Elementos Amovíveis.....	12
2.5. Fixação da Armadura à Coque / Chassis.....	13
2.6. Especificação dos Materiais.....	13
2.7. Ensaio de Carga Estática – Homologação.....	14
2.7.1. Ensaio sobre o Arco Principal	14
2.7.2. Ensaio sobre o Arco Frontal.....	14
3. Concepção Assistida por Computador.....	16
3.1. Introdução	16
3.2. Método dos Elementos Finitos	16
3.3. Discretização do Objecto	18
3.3.1. Pré-processamento.....	18
3.3.2. Análise	19
3.3.3. Pós-processamento	19
4. Caso de Aplicação – Fiat Uno 45 S	21
4.1. Arco de Segurança em Estudo	21
4.2. Material do Arco de Segurança.....	26
4.2.1. Valores Teóricos	26
4.2.2. Caracterização Mecânica – Ensaio de Tracção	27
4.3. Características do Arco que estão em desacordo com o Anexo “J”	31
4.3.1. Elemento Diagonal.....	31
4.3.2. Reforço do Tejadilho	31
4.3.3. Material	32
5. Concepção Geométrica	33
5.1. Introdução	33

5.2. Fases da Concepção	34
5.2.1. Arco Principal	34
5.2.2. Arcos Laterais	37
5.2.3. Reforços e Elementos de Ligação	38
5.2.4. Estrutura Final	40
6. Teste e Validação dos Resultados obtidos no Programa SolidWorks	43
6.1. Ensaio de Tracção	44
6.1.1. Cálculo Analítico	44
6.1.2. Cálculo Numérico	45
6.1.2.1. Elementos Sólidos	45
6.1.2.2. Elementos de Casca	48
6.2. Ensaio de Flexão	51
6.2.1. Cálculo Analítico	51
6.2.2. Cálculo Numérico	52
6.2.2.1. Elementos Sólidos	52
6.2.2.2. Elementos de Casca	55
6.3. Teste da União de Tubos	57
6.3.1. Elementos Sólidos	59
6.3.2. Elementos de Casca	63
7. Análise da estrutura	69
7.1. Ensaio sobre o Arco Principal	71
7.1.1. Resultados – Tensão	72
7.1.2. Resultados – Deslocamento	76
7.2. Ensaio sobre o Arco Lateral	78
7.2.1. Resultados – Tensão	79
7.2.2. Resultados – Deslocamento	83
8. Conclusão	86
8.1. Conclusões	86
8.2. Sugestão de Trabalhos Futuros	87
9. Referências	88
ANEXO A: Anexo “J” Art. 253 – Equipamento de Segurança FPAK	90
ANEXO B: Certificado de qualidade do material	115
ANEXO C: Ficha – Provetes para ensaio de tracção.	116
ANEXO D: Página do artigo 253 do anexo “J” <i>Technique</i> referente aos ensaios de carga estática.	117

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Acção do controlo de estabilidade (Notícias automotivas, 2011).....	2
Figura 1.2 – Processo de abertura de um airbag (Auto Destaques, 2011).....	3
Figura 1.3 – Exemplo de um arco de segurança (AutoPower, 2011).....	3
Figura 1.4 – Elementos diagonais de um arco de segurança (Hauser Racing, 2008).....	4
Figura 2.1 – 1ª Forma base de construção de um arco de segurança.	6
Figura 2.2 – 2ª Forma base de construção de um arco de segurança.	7
Figura 2.3 – 3ª Forma base de construção de um arco de segurança.	7
Figura 2.4 – Elementos diagonais para viaturas homologadas até 01-01-2002.	8
Figura 2.5 – Elementos diagonais para viaturas homologadas após 01-01-2002.....	8
Figura 2.6 – Elemento longitudinal para viaturas homologadas até 01-01-2007.....	9
Figura 2.7 – Elementos longitudinais para viaturas homologadas após 01-01-2007.	9
Figura 2.8 – Configurações possíveis para reforçar o tejadilho.	9
Figura 2.9 – Reforço do montante do pára-brisas.	10
Figura 2.10 – Reforço de ângulos e junções.....	10
Figura 2.11 – Elementos e reforços facultativos.	11
Figura 2.12 – Manga de ligação para tubos colineares.	12
Figura 2.13 – Ligação entre tubos concorrentes.....	12
Figura 2.14 – Alternativa para ligação entre tubos concorrentes.	12
Figura 2.15 – Prensa utilizada no ensaio sobre o arco principal (Ramos, 2008).....	14
Figura 2.16 – Aplicação da carga sobre o arco lateral (Ramos, 2008).....	15
Figura 3.1 – Discretização de um elemento cilíndrico (Botelho, 2010).....	17
Figura 3.2 – Estudo das tensões na viela de um motor (CIMM, 2011).....	17
Figura 3.3 – Discretização de um objecto de geometria complexa – Colectores de escape de um motor de combustão interna (Purdue University, 2011).	18
Figura 3.4 – a) Elemento sólido linear. b) Elemento sólido parabólico. (SolidWorks, 2011) .	19
Figura 4.1 – Viatura de competição – Fiat Uno 45 S.	21
Figura 4.2 – Arco de segurança – 1ª Conceção.	22
Figura 4.3 – Arco de segurança – 2ª Conceção.	22

Figura 4.4 – Posição da barra anti-aproximação na primeira concepção do arco de segurança.	23
Figura 4.5 – Posição da barra anti-aproximação na segunda concepção do arco de segurança.	23
Figura 4.6 – Pormenor: manga de ligação.	24
Figura 4.7 – Desenho da primeira concepção do arco de segurança.	24
Figura 4.8 – Reforço lateral superior.	25
Figura 4.9 – Pormenor: Ligação reforço lateral superior – Arco lateral.	25
Figura 4.10 – Pormenor: Ligação reforço lateral inferior – Arco principal.	25
Figura 4.11 – Máquina de Tracção. Marca: MTS	27
Figura 4.12 – Provetes utilizados nos ensaios de tracção.	28
Figura 4.13 – Provete instalado na máquina e extensómetro.	28
Figura 4.14 – Provetes após ensaio.	29
Figura 4.15 – Curva tensão-deformação: Provete 1.	29
Figura 4.16 – Curva tensão-deformação: Provete 2.	30
Figura 4.17 – Arco de segurança. Ausência de elementos diagonais no arco principal.	31
Figura 4.18 – Arco de segurança. Ausência de reforços de tejadilho.	32
Figura 5.1 – Junção OMP.	33
Figura 5.2 – 3ª Forma base de construção de um arco de segurança.	34
Figura 5.3 – Perfil – Arco principal.	34
Figura 5.4 – “Esqueleto” (caminho) – Arco Principal.	35
Figura 5.5 – Construção arco principal.	35
Figura 5.6 – Arco principal desenhado.	36
Figura 5.7 – Pormenor: Rectificação da união dos tubos no arco principal.	36
Figura 5.8 – Pormenor: Rectificação da união dos tubos que vão ao encontro dos membros de prolongamento traseiro.	37
Figura 5.9 – Arcos laterais.	37
Figura 5.10 – Reforços dos arcos laterais.	38
Figura 5.11 – Junção OMP.	38
Figura 5.12 – Junção OMP introduzida na estrutura.	39
Figura 5.13 – Manga de ligação.	39
Figura 5.14 – Manga de ligação introduzida na estrutura.	39
Figura 5.15 – Estrutura final.	40
Figura 5.16 – a) Desenho da primeira concepção do arco de segurança, b) Desenho da segunda concepção do arco de segurança.	40
Figura 5.17 – Vista de cima – Estrutura final.	41

Figura 5.18 – Vista lateral – Estrutura final.	41
Figura 5.19 – Vista anterior – Estrutura final.	42
Figura 6.1 – Tubo para validação.	43
Figura 6.2 – Condições de fronteira – Ensaio tracção.	44
Figura 6.3 – Pormenor: Malha elementos sólidos.	45
Figura 6.4 – Diagrama tensões com elementos sólidos – Ensaio tracção.	46
Figura 6.5 – Diagrama deslocamentos com elementos sólidos – Ensaio tracção.	46
Figura 6.6 – Pormenor: Concentração de tensões.	47
Figura 6.7 – Cálculo da tensão média.	47
Figura 6.8 – Tensão média.	47
Figura 6.9 – Pormenor: Malha elementos de casca.	49
Figura 6.10 – Diagrama tensões com elementos de casca – Ensaio tracção.	49
Figura 6.11 – Diagrama deslocamentos com elementos de casca – Ensaio tracção.	50
Figura 6.12 – Condições de fronteira – Ensaio flexão.	51
Figura 6.13 – Diagrama tensões com elementos sólidos – Ensaio flexão.	52
Figura 6.14 – Diagrama deslocamentos com elementos sólidos – Ensaio flexão.	53
Figura 6.15 – Obtenção da tensão máxima.	53
Figura 6.16 – Valor da tensão máxima.	54
Figura 6.18 – Valor máximo do deslocamento em Y – Flecha máxima.	54
Figura 6.17 – Esquema flecha máxima.	54
Figura 6.19 – Diagrama de tensões com elementos de casca – Ensaio flexão.	56
Figura 6.20 – Diagrama deslocamentos com elementos de casca – Ensaio flexão.	56
Figura 6.21 – Elemento “L”, objecto de estudo.	58
Figura 6.22 – Condições de fronteira – Teste “L”.	58
Figura 6.23 – Malha normal.	59
Figura 6.24 – Malha intermédia.	59
Figura 6.25 – Malha fina.	59
Figura 6.26 – Malha muito fina.	59
Figura 6.27 – Diagrama de tensões com elementos sólidos – Teste “L”.	60
Figura 6.28 – Diagrama de deslocamentos com elementos sólidos – Teste “L”.	60
Figura 6.29 – Gráfico da variação da tensão máxima com o tamanho da malha.	62
Figura 6.30 – Gráfico da variação da tensão numa secção a 100 mm da base com o tamanho da malha.	62
Figura 6.31 - Gráfico da variação da tensão média de toda a peça com o tamanho da malha.	62
Figura 6.32 – Gráfico da variação do deslocamento máximo com o tamanho da malha.	63

Figura 6.33 – Malha Normal.	64
Figura 6.34 – Malha intermédia.	64
Figura 6.35 – Malha fina.	64
Figura 6.36 – Malha muito fina.	64
Figura 6.37 – Diagrama de tensões com elementos de casca – Teste “L”.	65
Figura 6.38 – Diagrama de deslocamentos com elementos de casca – Teste “L”.	65
Figura 6.39 – Secção a 100 mm da base.	66
Figura 6.40 – Gráfico da variação da tensão máxima com o tamanho da malha.	67
Figura 6.41 – Gráfico da variação da tensão média de toda a peça com o tamanho da malha.	67
Figura 6.42 – Gráfico da variação do deslocamento máximo com o tamanho da malha.	68
Figura 7.1 – Introdução do material no SolidWorks.	69
Figura 7.2 – Discretização do arco de segurança em elementos finitos.	70
Figura 7.3 – Pormenor da malha de elementos finitos.	71
Figura 7.4 – Arco de segurança com condições de fronteira.	71
Figura 7.5 – Diagrama de tensões – Ensaio arco principal.	72
Figura 7.6 - Diagrama de tensões – Ensaio arco principal.	73
Figura 7.7 – Diagrama tensões – Zona superior do arco principal.	74
Figura 7.8 – Diagrama de tensões – Fixação do arco principal.	74
Figura 7.9 Diagrama de tensões - Fixação média do arco lateral.	74
Figura 7.10 – Diagrama de tensões – Fixação dos membros de prolongamento traseiro.	75
Figura 7.11 – Diagrama de tensões - Zona exterior da curva inferior do arco principal.	75
Figura 7.12 – Diagrama de tensões - Zona interior da curva inferior do arco principal.	75
Figura 7.13 – Diagrama de tensões - Curva superior do arco principal.	76
Figura 7.14 – Diagrama de tensões – União do “X” traseiro.	76
Figura 7.15 – Diagrama de deslocamentos – Ensaio arco principal.	77
Figura 7.16 – Pormenor do diagrama de deslocamentos – Ensaio arco Principal.	77
Figura 7.17 – Condições de fronteira – Ensaio arco lateral.	78
Figura 7.18 – Aplicação da carga – Ensaio arco lateral.	79
Figura 7.19 – Diagrama de tensões – Ensaio arco lateral.	79
Figura 7.20 – Tensão máxima sobre a curva superior do arco lateral.	80
Figura 7.21 – Valor máximo da tensão.	80
Figura 7.22 - Diagrama de tensões – Ensaio arco lateral.	81
Figura 7.23 – Diagrama de tensões – Curva superior do arco lateral.	81
Figura 7.24 – Diagrama de tensões – Apoios médios do arco lateral.	82

Figura 7.25 – Diagrama de tensões – Curva inferior do arco lateral.....	82
Figura 7.26 – Diagrama de tensões – Pormenor do arco principal.....	82
Figura 7.27 – Diagrama de deslocamentos – Ensaio arco lateral.....	83
Figura 7.28 – Pormenor do diagrama de deslocamentos – Ensaio arco lateral.....	83
Figura 7.29 – a) Sistema de coordenadas auxiliar, b) zoom do sistema de coordenadas.	84
Figura 7.30 – Lista de resultados dos deslocamentos segundo o novo sistema de eixos.	84

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Especificação dos materiais.....	13
Tabela 4.1 – Composição química Aço ST 37 (TUBONOR S. A., 2011).....	26
Tabela 4.2 – Propriedades mecânicas aço ST 37 (TUBONOR S. A., 2011).	26
Tabela 4.3 – Propriedades Mecânicas dos provetes.	30
Tabela 6.1 – Propriedades mecânicas aço AISI 1010	44
Tabela 6.2 – Resultados da análise com elementos sólidos – Ensaio tracção.....	48
Tabela 6.3 – Comparação de erros com elementos sólidos – Ensaio tracção.	48
Tabela 6.4 – Resultados da análise com elementos de casca – Ensaio tracção.....	50
Tabela 6.5 – Comparação de erros com elementos de casca – Ensaio tracção.	51
Tabela 6.6 - Resultados da análise com elementos sólidos – Ensaio flexão.	55
Tabela 6.7 – Comparação de erros com elementos sólidos – Ensaio flexão.....	55
Tabela 6.8 - Resultados da análise com elementos de casca – Ensaio flexão.	57
Tabela 6.9 - Comparação de erros com elementos de casca – Ensaio flexão.....	57
Tabela 6.10 – Resultados da análise sem transição automática – Elementos sólidos.	61
Tabela 6.11 – Resultados da análise com transição automática – Elementos sólidos.....	61
Tabela 6.12 – Resultados da análise sem transição automática – Elementos de casca.	66
Tabela 6.13 – Resultados da análise com transição automática – Elementos de casca.....	66
Tabela 7.1 – Propriedades mecânicas – Aço ST 37	70
Tabela 7.2 – Parâmetros da malha.....	70

1. Introdução

1.1. Motivação

A segurança automóvel é um tema que apresenta actual crescimento na nossa sociedade. Os construtores e preparadores de automóveis têm vindo a apostar na melhoria dos níveis de competitividade mas, também, na melhoria da segurança de forma a minimizar os incidentes causados nas pistas.

Desta forma temos assistido a um crescimento tecnológico dos sistemas de segurança activa e passiva. É nos sistemas de segurança passiva que se inserem os arcos de segurança.

O principal objectivo de um arco de segurança é de proteger os ocupantes do veículo em caso de acidente, impedindo a intrusão de objectos estranhos no habitáculo e, desta forma criar um volume de segurança à volta do condutor. Desta forma, existe uma legislação a ser cumprida que impõe valores mínimos aos quais a estrutura deve aguentar.

Hoje em dia, com o auxílio de meios computacionais de modelação tridimensional e elementos finitos é possível simular o comportamento de uma estrutura quando sujeita a cargas que reproduzem esforços reais e tirar conclusões prévias que evitam muitos testes físicos e, por vezes, destruição do modelo.

Cabe então aos engenheiros e às empresas optimizarem estas estruturas de segurança respeitando as normas e as directivas expressas na legislação.

1.2. Objectivos

O presente trabalho compreende o estudo do comportamento de uma estrutura de segurança usada em veículos de competição. Assim, neste trabalho constitui-se como objectivo principal a correcta concepção e análise de tensões e deslocamentos do arco de segurança “RollBar” da viatura de competição Fiat Uno 45s da competição Desafio Único FEUP1.

A resposta ao objectivo fundamental impõe que vários estudos sejam efectuados adicionalmente. Como tal, pretende-se, numa primeira fase, verificar as condições de homologação da estrutura pela FPAK (Federação Portuguesa de Automobilismo e Karting) e pela FIA (*Federation Internationale de l'Automobile*).

Numa segunda fase do trabalho, pretende-se efectuar uma análise por elementos finitos, aplicando as potencialidades do software SolidWorks Simulation, a componentes simples, de forma a compreender a qualidade e precisão de diferentes tipos de elementos.

1.3. Revisão Bibliográfica

1.3.1. Segurança Automóvel

Como foi dito no ponto 1.1 a segurança de um automóvel divide-se em dois grandes grupos. A segurança activa e a segurança passiva.

A segurança activa procura minimizar as possibilidades de se ter um acidente, ou seja, todos os componentes que um veículo põe à disposição do condutor para evitar o acidente são considerados componentes de segurança activa. Alguns exemplos destes componentes são os travões, pneus, suspensão, sistemas de apoio à dinâmica do veículo como o controlo de estabilidade (ESP), controlo de tracção, sistemas de apoio à travagem (ABS, Break Assist) entre outros. A Figura 1.1 mostra como o controlo de estabilidade actua nos veículos, no sentido de os obrigar a cumprir a trajectória correcta e evitar um despiste (Autopédia, 2011).

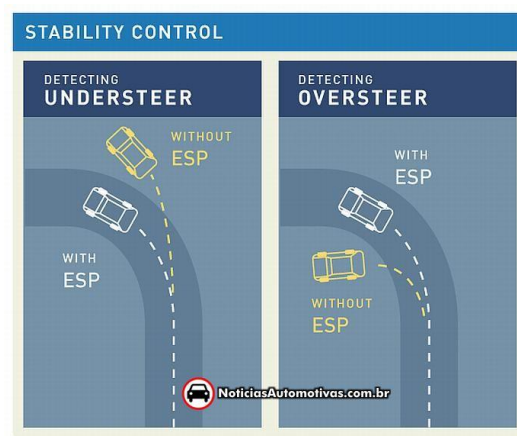


Figura 1.1 – Acção do controlo de estabilidade (Notícias automotivas, 2011).

A segurança passiva actua em caso de acidente. Assim, esta segurança é responsável pela minimização das lesões que o acidente poderia causar nos passageiros. Como exemplos de componentes que contribuem para a segurança passiva de um veículo existem os airbags, cintos de segurança, barras protectoras das portas, a própria carroçaria como estrutura de deformação programada (que absorve a energia do embate mantendo, dentro do possível, a região do habitáculo intacta), entre outras. A Figura 1.2 mostra alguns momentos instantâneos no processo de abertura de um airbag em caso de acidente (Autopédia, 2011).



Figura 1.2 – Processo de abertura de um airbag (Auto Destaques, 2011).

Quando se passa da estrada para a pista, nomeadamente no desporto automóvel, os riscos de que os pilotos ficam sujeitos são maiores, o que implica uma necessidade de melhorar a segurança passiva dos automóveis. Assim, surgiram vários sistemas de segurança, entre os quais, os cintos de segurança de seis pontos, os bancos especiais (“buckets”) e os arcos de segurança ou mais comumente chamados pelo termo Inglês “roll cage” ou “roll bar” (Figura 1.3).



Figura 1.3 – Exemplo de um arco de segurança (AutoPower, 2011).

As entidades desportivas como a “*Fédération Internationale de l’Automobile*” (FIA) e a Federação Portuguesa de Automobilismo e Karting (FPAK) têm como objectivo impor limites tecnológicos em cada modalidade através de restrições e obrigações de forma a aumentar a segurança. Estas restrições e obrigações serão mostradas mais a frente através do regulamento do anexo J da FPAK (Ramos, 2008).

1.3.2. Arcos de Segurança

Um arco de segurança, usualmente referido como “roll cage” ou “roll bar” é uma estrutura especificamente construída para se instalar dentro de um veículo ou à sua volta, com o intuito de proteger os seus ocupantes em caso de acidente, especialmente se ocorrer capotamento. Os arcos de segurança são usados na competição automóvel, nas forças militares e policiais. Alguns carros são construídos já com esta estrutura enquanto noutros podem ser aplicados posteriormente. Os arcos de segurança podem ter muitas configurações diferentes, dependendo do tipo de veículo.

O objectivo principal dos arcos de segurança é proteger os ocupantes em caso de capotamento. Assim, enquanto as peças do veículo podem ser danificadas total ou parcialmente, o arco de segurança evita que haja como já referido intrusão no habitáculo de objectos estranhos, criando um volume de segurança à volta do condutor (Smith, 2003).

Existem diferentes formas de arcos de segurança. Desde um simples arco com dois pontos de fixação, passando por estruturas de protecção de quatro ou seis pontos de ancoragem até concepções completas do automóvel que incluem o próprio chassis.

Os arcos de segurança também podem variar dependendo da sua finalidade, eles serão de concepção diferente caso sejam, por exemplo, para rali ou para velocidade. A diferença significativa entre um arco de segurança de um automóvel de rali para um veículo de velocidade é a ausência de elementos cruzados (protecção do tejadilho, arco principal) nessa última modalidade. Os elementos cruzados são substituídos por simples elementos diagonais como se pode ver na Figura 1.4.



Figura 1.4 – Elementos diagonais de um arco de segurança (Hauser Racing, 2008).

Nos ralis, a existência de variadíssimos obstáculos nas especiais obriga a protecções extras relativamente à velocidade para que objectos estranhos não penetrem no habitáculo e provoquem lesões gravíssimas nos ocupantes do automóvel.

Embora nessa modalidade ocorram poucas fatalidades, a maioria dos acidentes graves e muito graves ocorrem em impactos laterais. Como é o caso da morte de Mark Lovell e Roger Freeman em 2003 no campeonato de rali dos Estados Unidos, quando o Subaru colidiu numa árvore a alta velocidade. O mesmo sucedeu ao Peugeot 307 WRC de Markko Märtin que levou a morte do seu co-piloto Michael “Beef” Park. O facto de nos ralis o veículo estar ocupado por duas pessoas faz com que exista pouco espaço entre os ocupantes e as portas, ou seja a distância disponível para amortecer o choque é de aproximadamente 35 cm.

Foram realizados vários estudos após esses acidentes nomeadamente por parte da Prodrive (preparador oficial da Subaru) para tentar melhorar a segurança dos pilotos e co-pilotos em caso de impacto lateral.

A FIA tem-se esforçado para melhorar a segurança num impacto lateral no campeonato do mundo de ralis (WRC), mas as restantes modalidades continuam sem especificações para esse tipo de acidentes. Não existe qualquer ensaio estático específico para o impacto lateral para a homologação de arcos de segurança.

Nos Estados Unidos da América, os arcos de segurança possuem níveis de segurança superiores relativamente à Europa. De facto, a legislação é mais restritiva no que diz respeito, por exemplo, às protecções em caso de impacto lateral (Ramos, 2008).

2. Arco de Segurança – Regulamento de acordo com o Anexo “J” da FPAK

2.1. Construção do Arco – Estrutura Base

De acordo com o artigo 8 do artigo 253 do anexo J da FPAK actualizado em 13-12-2010, que se refere à armadura de segurança (arco de segurança), esta é de montagem obrigatória e tem de obedecer a um dos seguintes pontos:

- Construída de acordo com as exigências presentes no anexo J;
- Homologada por uma ADN (Autoridade Desportiva Nacional) de acordo com o regulamento de homologação para armaduras de segurança;
- Homologada pela FIA de acordo com o regulamento de homologação para armaduras de segurança.

No que diz respeito às especificações da estrutura base presente no anexo J, esta deverá ser composta por uma das seguintes formas:

- 1 Arco principal + 1 arco dianteiro + 2 membros longitudinais + 2 membros de prolongamento traseiro + 6 pontos de fixação (Figura 2.1);
- 2 Arcos laterais + 2 membros transversais + 2 membros de prolongamento traseiro + 6 pontos de fixação (Figura 2.2);
- 1 Arco principal + 2 semi-arcos laterais + 1 membro transversal + 2 membros de prolongamento traseiro + 6 pontos de fixação (Figura 2.3).

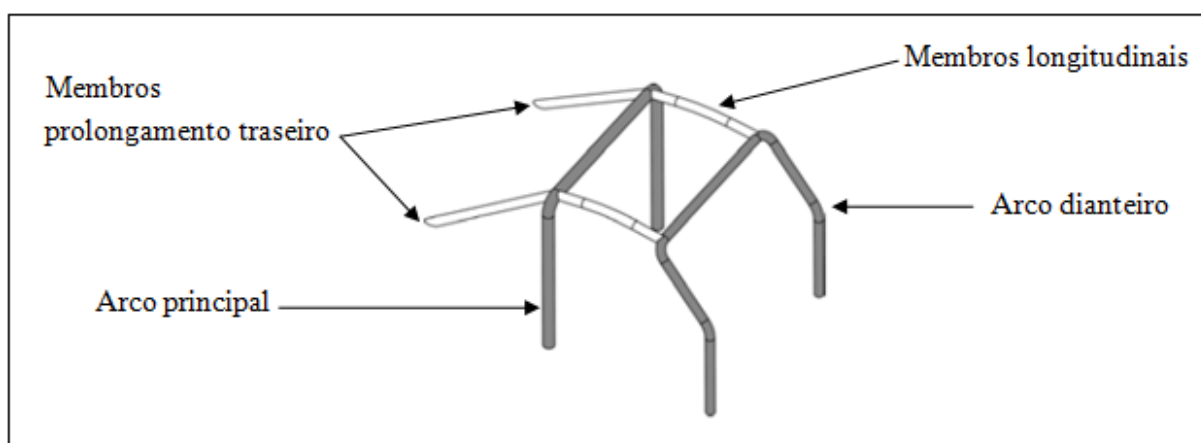


Figura 2.1 – 1ª Forma base de construção de um arco de segurança.

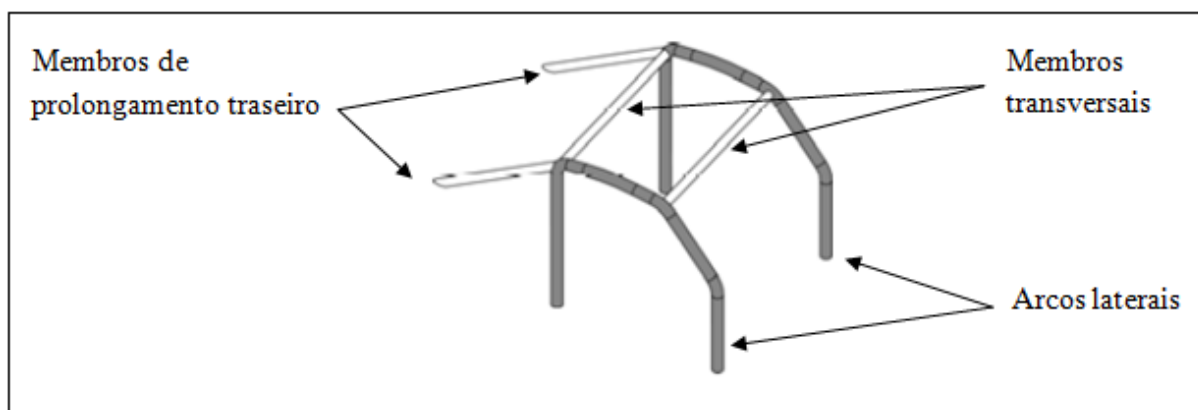


Figura 2.2 – 2ª Forma base de construção de um arco de segurança.

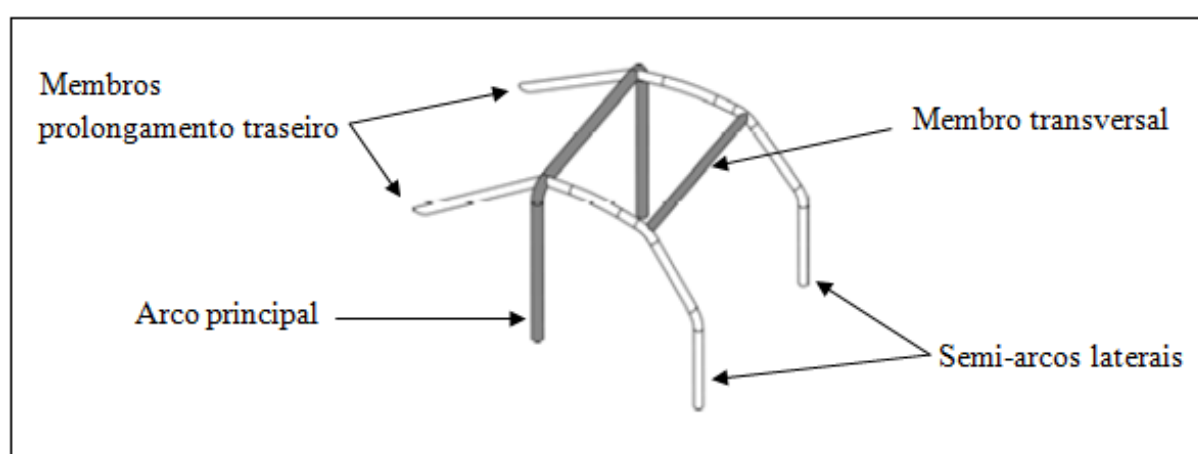


Figura 2.3 – 3ª Forma base de construção de um arco de segurança.

A estrutura base incorporada no automóvel em estudo é a terceira concepção, porém, esta possui elementos de reforço obrigatórios para além da estrutura base e elementos de reforço facultativos. De seguida serão apresentados os elementos de reforço obrigatórios segundo o mesmo anexo J.

2.2. Elementos e Reforços Obrigatórios

Os reforços obrigatórios compreendidos no anexo J são de vários tipos, entre eles existem os elementos diagonais, elementos das portas, reforços de tejadilho, reforço do montante do pára-brisas e reforços de ângulos e junções.

2.2.1. Elemento Diagonal

Para viaturas homologadas até 01-01-2002, a armadura deve comportar um dos elementos diagonais definidos nos desenhos da Figura 2.4. Para viaturas posteriores a essa data, a

armadura deve incorporar dois elementos diagonais no arco principal conforme o desenho da Figura 2.5.

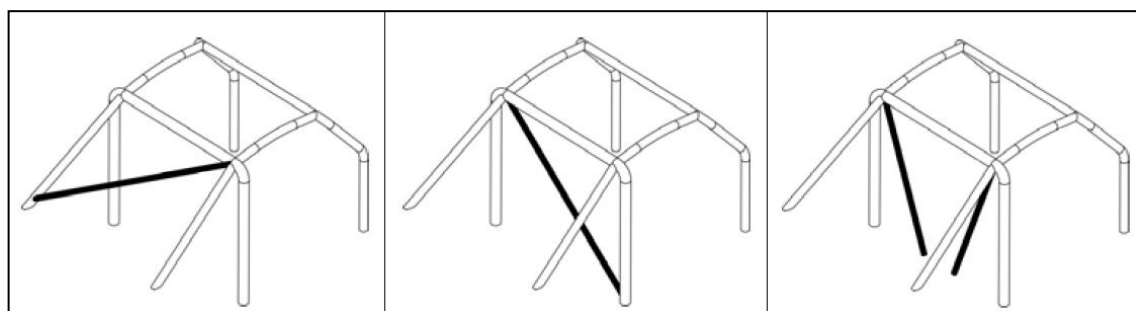


Figura 2.4 – Elementos diagonais para viaturas homologadas até 01-01-2002.

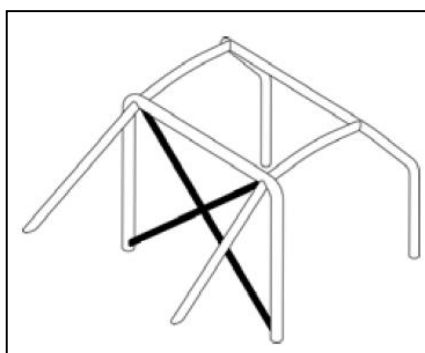


Figura 2.5 – Elementos diagonais para viaturas homologadas após 01-01-2002.

Especificações relativas a distâncias mínimas a que os reforços deveram estar da coque ou do arco principal encontram-se no anexo J em questão que se encontra como Anexo A do presente relatório.

2.2.2. Elementos das Portas

Para viaturas homologadas até 01-01-2007 deve ser incorporado o elemento longitudinal representado na Figura 2.6, para viaturas posteriores devem ser incorporados um dos conjuntos de elementos representados na Figura 2.7.

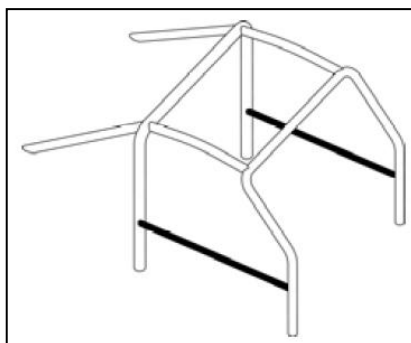


Figura 2.6 – Elemento longitudinal para viaturas homologadas até 01-01-2007.

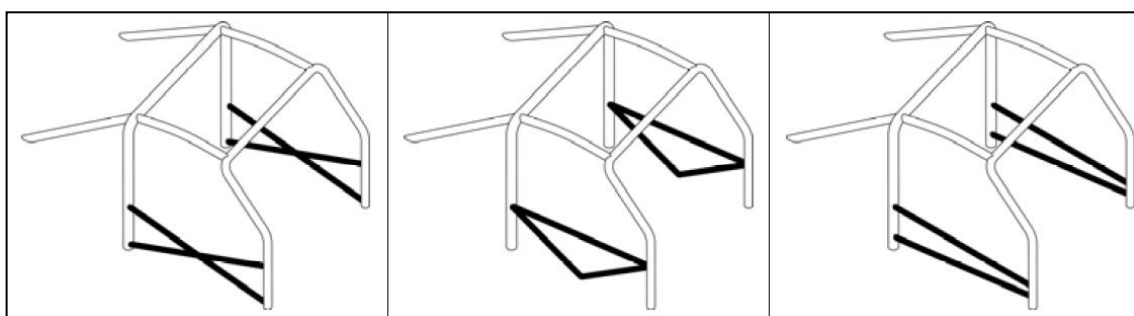


Figura 2.7 – Elementos longitudinais para viaturas homologadas após 01-01-2007.

Os desenhos podem ser combinados entre si e podem ser desmontáveis mas a concepção deve ser simétrica. Outros requisitos relativos a estes elementos podem ser encontrados no respectivo anexo.

2.2.3. Reforço do Tejadilho

Estes reforços são aplicáveis apenas para viaturas homologadas após 01-01-2005. A parte superior da armadura de segurança deve estar conforme um dos desenhos da Figura 2.8.

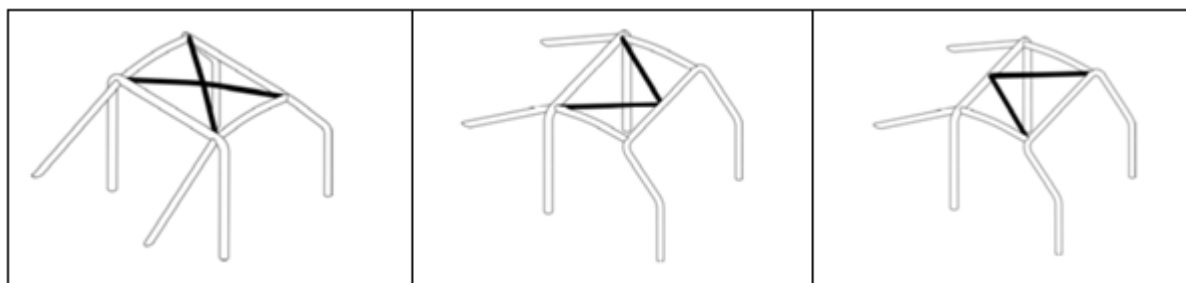


Figura 2.8 – Configurações possíveis para reforçar o tejadilho.

2.2.4. Reforço do Montante do Pára-brisas

O reforço do montante do pára-brisas apenas se aplica para viaturas homologadas após 01-01-2006. Este, deverá ser montado de cada lado do arco dianteiro, no caso da dimensão “A” ser superior a 200mm (Figura 2.9).

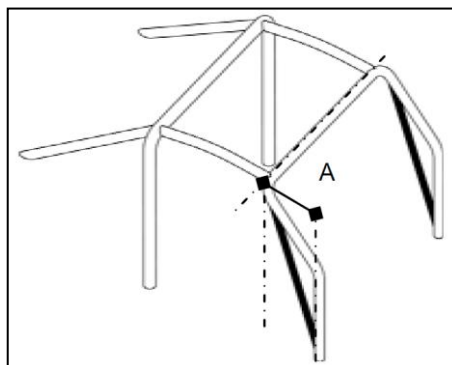


Figura 2.9 – Reforço do montante do pára-brisas.

2.2.5. Reforços de Ângulos e Junções

Estes reforços podem ser utilizados entre:

- Os elementos diagonais do arco principal;
- Reforços do tejadilho;
- Reforços de porta;
- Reforços do montante do pára-brisas.

E devem estar de acordo com o artigo 8.2.14 do artigo 253 do anexo J, apresentando a configuração apresentada na Figura 2.10:

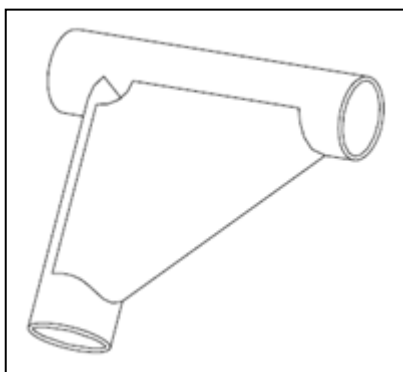


Figura 2.10 – Reforço de ângulos e junções.

2.3. Elementos e Reforços Facultativos

Os elementos representados na Figura 2.11 (à excepção do primeiro desenho da terceira linha) são facultativos e podem ser instalados à vontade do construtor. Podem ainda ser utilizados separadamente ou combinados entre si.

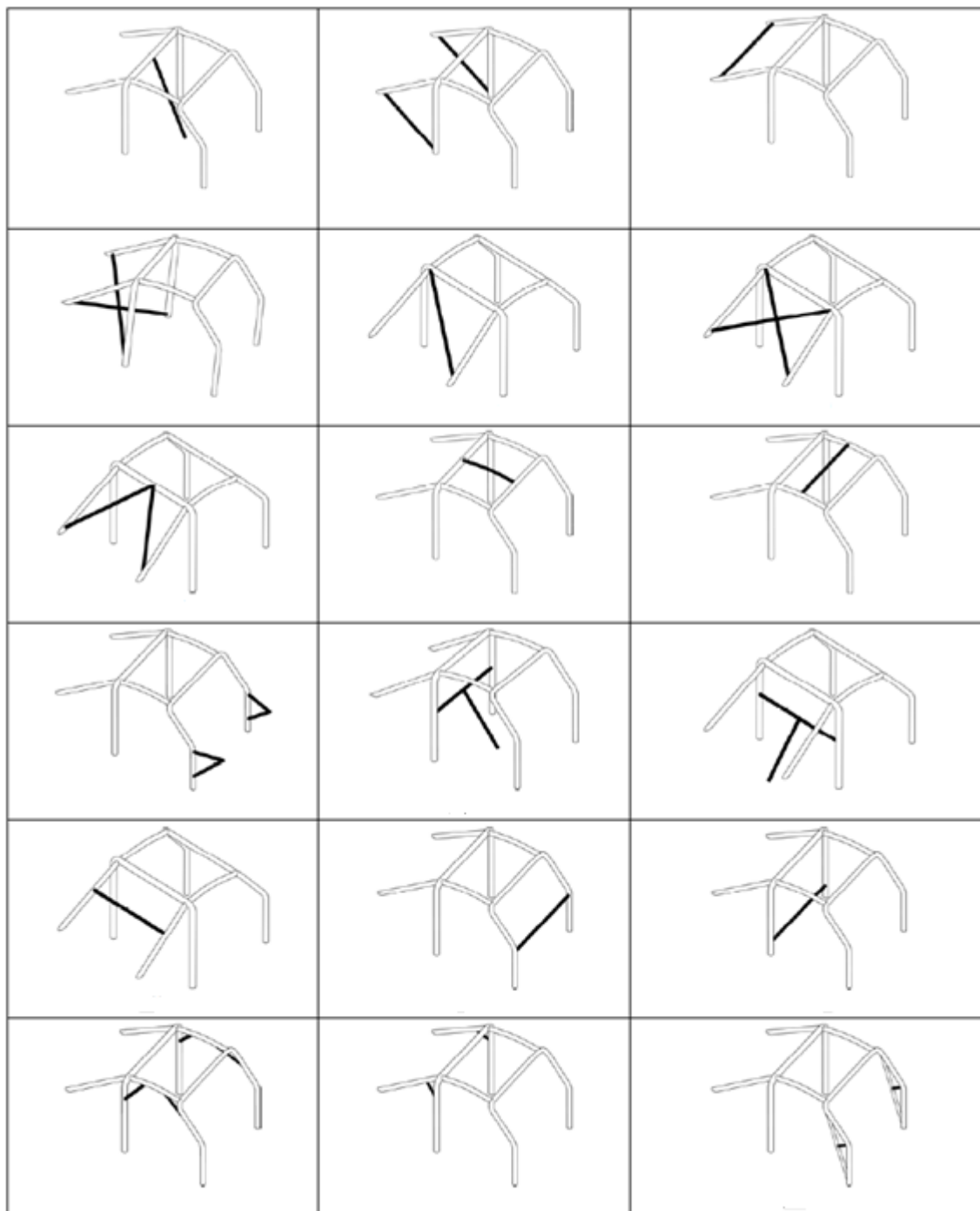


Figura 2.11 – Elementos e reforços facultativos.

2.4. Elementos Amovíveis

Caso se utilizem elementos amovíveis na construção da armadura de segurança, as conexões desmontáveis devem ser conformes a um tipo aprovado pela FIA e após montagem não podem ser soldadas. Alguns exemplos destas conexões estão representados em Figura 2.12, Figura 2.13 e Figura 2.14. As porcas e parafusos deverão ser de qualidade mínima 8.8 (norma ISO).

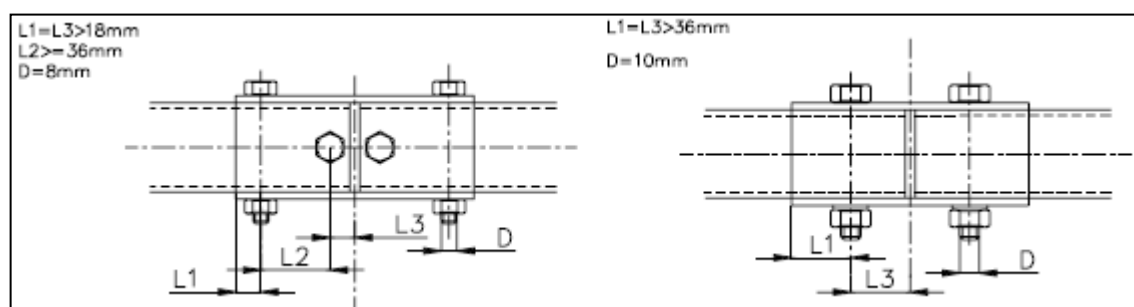


Figura 2.12 – Manga de ligação para tubos colineares.

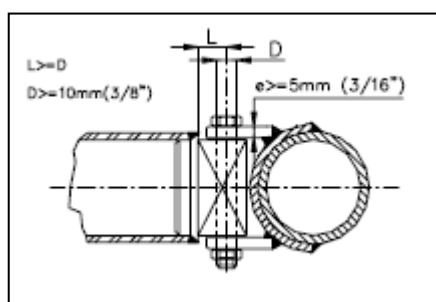


Figura 2.13 – Ligação entre tubos concorrentes.

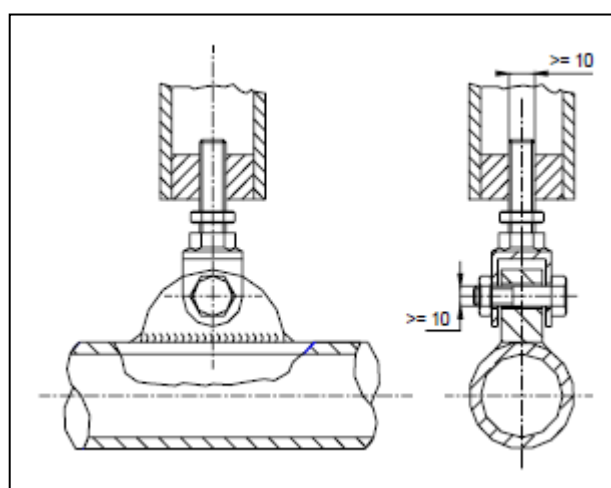


Figura 2.14 – Alternativa para ligação entre tubos concorrentes.

2.5. Fixação da Armadura à Coque / Chassis

A fixação de uma armadura de segurança ao chassis é de elevada importância pois, esta não se deve mover em relação ao chassis garantindo assim a segurança dos ocupantes. Os pontos de fixação mínimos a respeitar perante o regulamento são:

- Um para cada montante do arco principal;
- Um para cada montante do arco dianteiro;
- Um para cada montante do arco lateral ou semi-arcos laterais;
- Um para cada montante dos prolongamentos traseiros.

Para além disto, cada ponto de fixação deverá ser fixado por pelo menos três parafusos a uma placa de reforço em aço, soldada ao chassis, com uma espessura mínima de 3 mm e uma superfície mínima de 120 cm².

2.6. Especificação dos Materiais

De acordo com o regulamento, apenas são aceitáveis tubos de secção circular, e estes têm de estar de acordo com as especificações presentes na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Especificação dos materiais.

Material	Resistência mínima à tracção	Dimensões mínimas (mm)	Utilização
Aço carbono não de liga (ver abaixo) estirado a frio sem costura contendo no máximo 0.3 % de carbono.	350 <i>N/mm²</i>	45 × 2.5 (1.75" × 0.095") ou 50 × 2.0 (2.0" × 0.083")	Arco principal ou arcos laterais e elementos transversais traseiros. Conforme a construção.
		38 × 2.5 (1.5" × 0.095") ou 40 × 2.0 (1.6" × 0.083")	Semi-arcos laterais e outros elementos da armadura de segurança.

Para além destas especificações, é importante referir que:

- Para um aço não de liga, o teor máximo dos elementos acrescentados será de 1,7% para o manganésio e de 0,6% para os outros elementos;
- Quando se escolhe o aço, deverá ter-se atenção em obter boas qualidades de alongamento e uma correcta aptidão para a soldadura;
- Os tubos deverão ser dobrados a frio, com um raio de curvatura medido relativamente ao eixo, de pelo menos três vezes o seu diâmetro;
- A superfície ao nível das curvas deverá ser lisa e uniforme, e desprovida de ondulações ou fissuras. (FPAK, 2010)

2.7. Ensaios de Carga Estática – Homologação

Os ensaios necessários realizar caso se pretenda homologar um arco de segurança estão definidos no artigo 253 do Anexo “J” *Technique*. Este anexo apresenta dois ensaios obrigatórios, um sobre o arco principal e outro sobre o arco frontal ou semi-arco lateral. Para cada um deles especifica as cargas a utilizar assim como a sua orientação e local. Uma vez que este Anexo Técnico é de grande dimensão, foi colocado apenas a página referente aos ensaios de carga estática em Anexo D do presente relatório.

2.7.1. Ensaio sobre o Arco Principal

Neste ensaio o arco deve suportar uma carga vertical de $7,5 \times P$, sendo P o peso do carro mais 150kg, aplicada no topo do arco principal por uma estrutura rígida.

A estrutura de teste deve ser de aço e apresentar as seguintes dimensões:

- Comprimento = largura do arco principal + 100 mm no mínimo;
- Largura = 250 mm $\pm$ 50 mm;
- Espessura = 40 mm no mínimo.

O tempo de aplicação da carga não pode ultrapassar 15 segundos e após o teste a estrutura não pode sofrer rotura ou produzir uma deformação superior a 50 mm, medidos ao longo do eixo de aplicação de carga. A estrutura rígida usada para realizar o teste pode ser introduzida numa prensa como mostra a Figura 2.5.

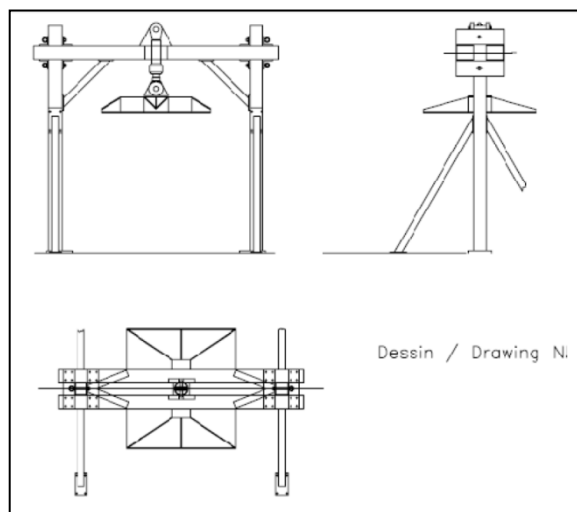


Figura 2.15 – Prensa utilizada no ensaio sobre o arco principal (Ramos, 2008).

2.7.2. Ensaio sobre o Arco Frontal

Neste ensaio o arco deve suportar uma carga vertical de $3,5 \times P$, sendo P o peso do carro mais 150kg aplicada no topo do arco frontal ou semi-arco lateral por uma estrutura rígida, do lado do piloto e no cruzamento com o membro transversal da frente.

A estrutura de teste deve ser de aço e apresentar as seguintes dimensões:

- Comprimento = $450\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$
- Largura = $250\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$
- Espessura = 40 mm no mínimo.

O eixo longitudinal da estrutura de teste deve estar orientado para a frente e para baixo com um ângulo de $5^\circ \pm 1^\circ$ a partir do eixo horizontal e o eixo transversal deve ser dirigido para fora e para baixo com um ângulo de $25^\circ \pm 1^\circ$ da horizontal. A Figura 2.16 exemplifica a aplicação da carga.

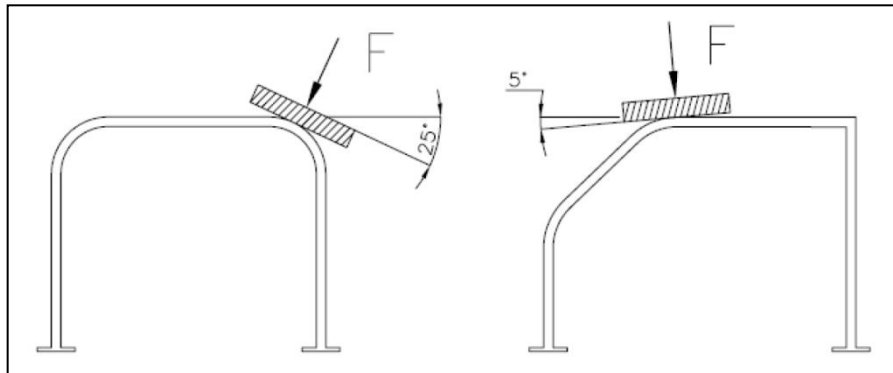


Figura 2.16 – Aplicação da carga sobre o arco lateral (Ramos, 2008).

O tempo de aplicação da carga não pode ultrapassar 15 segundos e após o teste a estrutura não pode sofrer rotura ou produzir uma deformação superior a 100 mm, medidos ao longo do eixo de aplicação da carga. (FIA, 2006)

3. Concepção Assistida por Computador

3.1. Introdução

O uso de computadores na produção de componentes de automóveis de competição tem sido utilizado por muitas equipas. No entanto, convém relembrar algumas termos associados a essa tecnologia entre os quais CAD, CAM, CAE, CNC, e FEM.

O design assistido por computador (CAD – Computer Aided Design) tem por objectivo trabalhar as geometrias e relações geométricas de componentes. A fabricação assistida por computador (CAM – Computer Aided Manufacturing) usa as dimensões e relações obtidas por CAD para produzir os componentes. As máquinas capazes de produzir peças a partir de tais tecnologias necessitam de possuir um controlo numérico computadorizado (CNC – Computerized Numerical Control). A concepção de engenharia assistida por computador (CAE – Computer Aided Engineering) utiliza todos os meios numéricos e “software” para conceber, estudar e simular produtos e processo industriais. Hoje em dia, o método dos elementos finitos (MEF ou FEM – Finite Elements Method) é um dos métodos mais eficazes e usados durante a fase de cálculo e de projecto de componentes e processos.

A primeira fase da concepção de um componente é a modelação tridimensional do objecto sujeito a estudo. Após essa primeira etapa, muitas operações de análise podem ser efectuadas em variadíssimos programas graças á compatibilidade existente entre cada “software”. Podem ser efectuadas análises pelo MEF, onde são localizados os pontos críticos da estrutura, quando sujeita a uma determinada carga, para poder reconfigurar a geometria. O modelo digital final pode ser enviado para uma máquina CNC tal como a fresadora ou então para um processo de prototipagem rápida como por exemplo a estereolitografia (Ramos, 2008).

3.2. Método dos Elementos Finitos

O Método dos Elementos Finitos é uma análise matemática que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as mesmas propriedades do meio original. A Figura 3.1 exemplifica a discretização de um elemento cilíndrico. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos, para que sejam obtidos os resultados desejados.

A origem do desenvolvimento deste recurso ocorreu no final do século XVIII, entretanto, a sua viabilização tornou-se possível somente com o advento dos computadores, facilitando a resolução das enormes equações algébricas (Raquel S. Lotti, 2006).

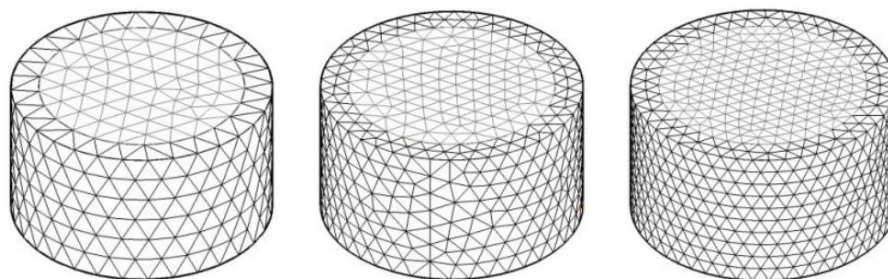


Figura 3.1 – Discretização de um elemento cilíndrico (Botelho, 2010).

Actualmente, o MEF permite uma grande variedade de simulações, tais como:

- Estudo de tensões, deformações e deslocamentos de estruturas;
- Condução de calor (linear e não linear, permanente e transiente);
- Análise de campo acústico;
- Escoamento de fluidos (em dutos ou canais);
- Análise de campos Magnéticos (simulação de motores eléctricos);
- Fenómenos acoplados (piezoeléctrico, magneto-estrictivo, entre outros) (Introdução ao MEF, 2011).

Um exemplo de análise de tensões está representado na Figura 3.2 onde, uma viela de um motor de combustão interna foi sujeita a cargas de compressão.



Figura 3.2 – Estudo das tensões na biela de um motor (CIMM, 2011).

No que toca ao estudo estrutural, este método permite ainda:

- Análise estática linear (pequenas deformações) e não-linear (grandes deformações, plasticidade, entre outros);
- Análise dinâmica (resposta em frequência);

- Cálculo de frequência de ressonância;
- Análise de fadiga (LNZ, 2011).

3.3. Discretização do Objecto

Um problema central do MEF é a fragmentação de cada objecto num modelo de elementos finitos. Teoricamente devem ser escolhidas as menores dimensões possíveis para o tamanho dos elementos finitos, a fim de se obter melhores resultados. Porém, nem sempre é possível dada a complexidade de algumas geometrias Figura 3.3 (Introdução ao MEF, 2011).

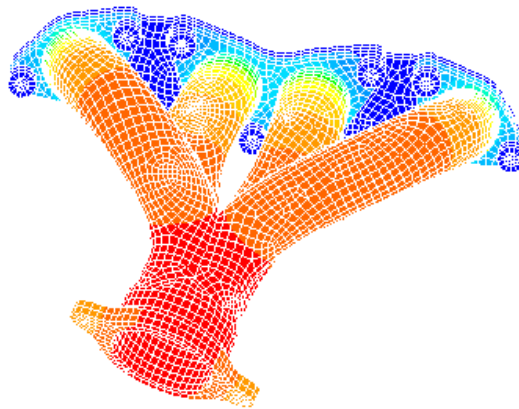


Figura 3.3 – Discretização de um objecto de geometria complexa – Colectores de escape de um motor de combustão interna (Purdue University, 2011).

Algoritmos sofisticados foram desenvolvidos para fragmentar objectos de formas arbitrárias em elementos finitos rectangulares, rectangulares e outros. Um problema associado a um modelo de elementos finitos com muitos elementos é o seu tempo de processamento. Assim, o ideal é que o algoritmo possa reconhecer regiões em que há necessidade de diminuir a dimensão dos elementos finitos e regiões em que esta necessidade não existe.

Todos os problemas de análise de elementos finitos envolvem uma sequência de passos para sua solução, que podem ser resumidos nos seguintes três passos:

- Pré-processamento;
- Análise;
- Pós-processamento.

3.3.1. Pré-processamento

O passo de pré-processamento, é o que exige o maior esforço pelo analista:

- Geometria – a geometria do modelo precisa ser especificada;
- Especificação das propriedades do material – uma vez que a geometria foi definida, é necessário definir as propriedades de cada material;

- Geração da malha – uma vez que o objecto foi criado, ele precisa ser discretizado. Existem opções para gerar a malha de forma totalmente automática ou de forma controlada pelo usuário;
- Aplicação das condições de fronteira – é necessário definir quais os deslocamentos que são permitidos nos apoios ou secções da peça a estudar e o lugar e tipo das forças aplicadas.

O objectivo do MEF é estudar a resposta do sistema a forças aplicadas, assim, os sistemas fornecem opções para aplicar forças a cada nó do sistema. Existem vários tipos de elementos para construir a malha de elementos finitos. A Figura 3.4 mostra alguns exemplos.

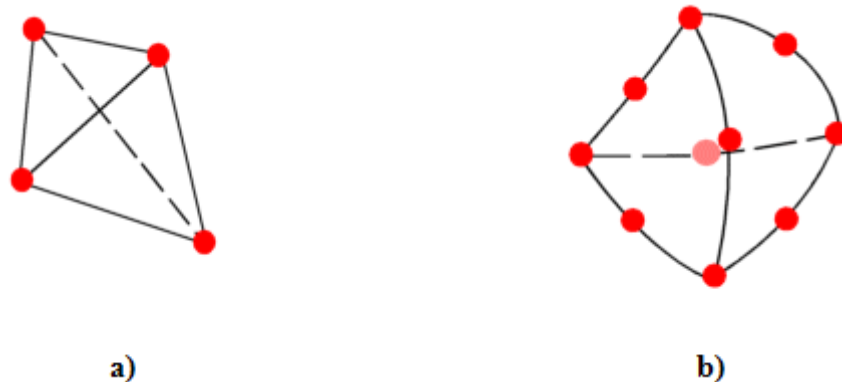


Figura 3.4 – a) Elemento sólido linear de 4 nós. b) Elemento sólido parabólico de 10 nós. (SolidWorks, 2011)

3.3.2. Análise

Uma vez com a malha construída e escolhido o material, pode-se accionar a análise. Esta etapa pode demorar desde minutos a horas.

Nesta etapa, o software MEF irá automaticamente:

- Construir as matrizes de cada elemento;
- Construir a matriz do sistema global;
- Reduzir a matriz do sistema global com uso das condições de fronteira;
- Resolver o sistema.

3.3.3. Pós-processamento

O objectivo da fase de pós-processamento é fornecer ao usuário a visualização mais clara possível da solução obtida. Nesta etapa o computador actua de forma importante para criar os gráficos requeridos. É possível visualizar vários tipos de análise:

- Flexão;
- Tensão;
- Valores numéricos;

- Animação (Introdução ao MEF, 2011).

4. Caso de Aplicação – Fiat Uno 45 S

4.1. Arco de Segurança em Estudo

O arco de segurança alvo de estudo foi o arco usado na viatura de competição Fiat Uno 45s, da actual competição Desafio Único FEUP 1 (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Viatura de competição – Fiat Uno 45 S.

Este estudo consiste numa actualização e melhoramento de um estudo previamente efectuado por alunos do curso de Engenharia Mecânica no âmbito da cadeira de Mecânica Experimental.

As actualizações que foram necessárias efectuar a esse estudo deveram-se à alteração por parte do construtor Joaquim Soares de 2 pormenores. O primeiro recai sobre a espessura dos tubos dos cintos de segurança e do tubo que funciona como barra de anti-aproximação traseira. Na Figura 4.2 está representada a primeira concepção do arco de segurança construído e na Figura 4.3 a mais recente. Os tubos em questão passaram de um diâmetro exterior de 34,2 mm para 26,8 mm respectivamente.



Figura 4.2 – Arco de segurança – 1ª Conceção.



Figura 4.3 – Arco de segurança – 2ª Conceção.

O segundo pormenor refere-se novamente com a barra traseira do rollbar que funciona como barra anti-aproximação. Assim, enquanto na primeira concepção do arco esta barra estava posicionada de forma a ir ao encontro dos membros de prolongamento traseiro (Figura 4.4), no arco mais recente, essa barra encontra-se mais recuada, de modo a “intersectar” os eixos dos apoios dos amortecedores traseiros (Figura 4.5)

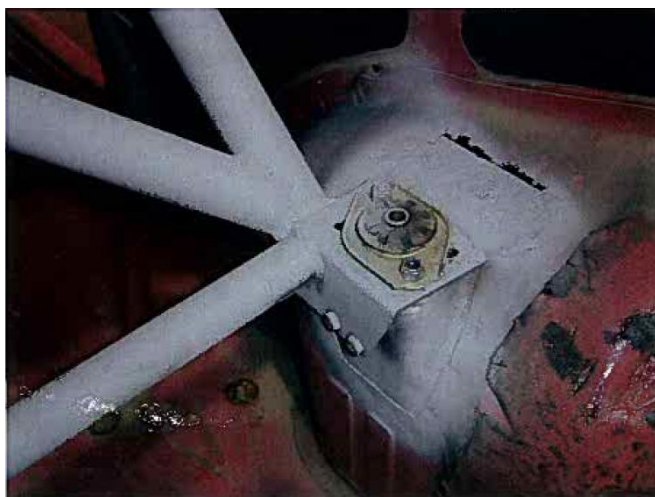


Figura 4.4 – Posição da barra anti-aproximação na primeira concepção do arco de segurança.



Figura 4.5 – Posição da barra anti-aproximação na segunda concepção do arco de segurança.

Os aspectos que foram alvo de melhoramento deveram-se à errada representação das uniões entre o arco principal com os arcos laterais e as uniões dos reforços laterais.

Relativamente às uniões entre o arco principal com os arcos laterais, estas dão-se através de mangas de ligação (Figura 4.6). No entanto, ao analisar a Figura 4.7 (onde se mostra o desenho do trabalho anteriormente efectuado), essa ligação não foi representada. Assim, a Figura 5.14 do ponto 5.2.3 deste relatório exemplifica a correcta ligação entre os arcos.

Manga de
ligação



Figura 4.6 – Pormenor: manga de ligação.

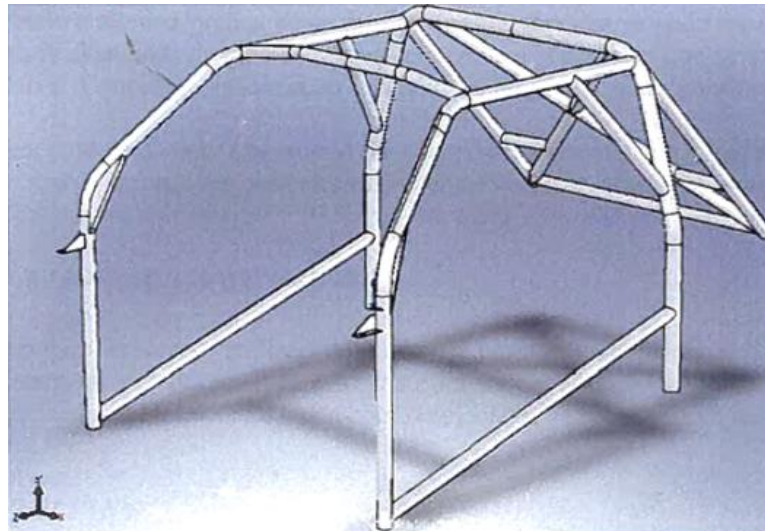


Figura 4.7 – Desenho da primeira concepção do arco de segurança.

No que toca às uniões dos reforços laterais com o arco, estas dão-se pelo meio de junções OMP. A Figura 4.8 mostra a posição do reforço superior, com as respectivas ligações ao arco lateral e arco principal a serem efectuadas por este tipo de junção. Na Figura 4.9 apresenta-se o pormenor da ligação entre esse reforço e o arco lateral e na Figura 4.10 o pormenor da ligação entre o reforço inferior e o arco principal.

Ao analisar mais uma vez a Figura 4.7 vê-se claramente que estas ligações não estão representadas. Ao invés destas ligações, os tubos estão ligados directamente, como se estivessem soldados. Este é um aspecto ao qual se deve dar muita importância pois o facto de existir este tipo de ligação faz com que o reforço possa rodar relativamente aos arcos, havendo assim um momento que não irá ser transmitido (o momento relacionado com o referido movimento de rotação). Ao não haver transmissão deste momento, a flexão que vai resultar quando se aplicarem cargas vai ser diferente do caso de haver transmissão dos momentos nos três eixos.



Figura 4.8 – Reforço lateral superior.



Figura 4.9 – Pormenor: Ligação reforço lateral superior – Arco lateral.



Figura 4.10 – Pormenor: Ligação reforço lateral inferior – Arco principal.

4.2. Material do Arco de Segurança

4.2.1. Valores Teóricos

De acordo com o certificado de qualidade (Anexo B) cedido pelo construtor dos arcos de segurança Joaquim Soares, o material usado nos tubos que constituem o arco de segurança em estudo é o aço ST 37.0 segundo a norma DIN 1629. Para além do material este certificado mostra que se tratam de tubos sem costura, acabados a quente e que passou no teste de tensão e de correntes induzidas. As propriedades deste material serão demonstradas de seguida.

Na tabela seguinte apresenta-se a composição química do aço ST 37.

Tabela 4.1 – Composição química Aço ST 37 (TUBONOR S. A., 2011).

Elemento químico	C	S	P	N
Composição química (%)	0.17	0.04	0.04	0.009

Como se pode ver, a composição química do ST 37.0 satisfaz os requisitos relativos ao material do anexo J. No que toca à percentagem de carbono apenas contem 0.17 % e o máximo permitido é de 0.3. Relativamente aos elementos de liga, também satisfaz o anexo uma vez que nenhum ultrapassa os 0.6 %.

Apesar de este material não apresentar costura, não cumpre a 100% o anexo J pois é acabado a quente e o anexo impõe que seja acabado a frio.

Em relação às propriedades mecânicas do material, foi usado a mesma fonte de informação da composição química, ou seja, um catálogo de tubos da empresa TUBONOR S.A. Foi possível desta forma obter a Tabela 4.2 que apresenta as propriedades mecânicas do material em função do diâmetro exterior do tubo.

Tabela 4.2 – Propriedades mecânicas aço ST 37 (TUBONOR S. A., 2011).

Limite elástico Superior mínimo (<i>N/mm²</i>)			Resistência à tracção (<i>N/mm²</i>)	Extensão após rotura	
Diâmetro externo do tubo (mm)				Longitudinal (% mín)	Transversal (% mín)
≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 65			
235	225	215	350 a 480	25	23

Uma vez que os tubos usados no arco de segurança em estudo apresentam um diâmetro exterior de 48,4 mm considera-se uma tensão de limite elástico de $215 N/mm^2$. Como não

foram encontrados valores para o módulo de elasticidade considera-se que este deverá estar compreendido entre os 200 e 210 GPa.

Este material é usado na construção de tubos e canos sem costura, na construção de fábricas de produtos químicos, navios, tubagens e para propósitos gerais de Engenharia Mecânica. Normalmente não há valores limites para o máximo das pressões de trabalho, no entanto as temperaturas de trabalho não devem exceder os 300 °C (Tube Solution, 2011).

4.2.2. Caracterização Mecânica – Ensaio de Tracção

Com o objectivo de validar os resultados teóricos encontrados, foram realizados dois ensaios de tracção nas instalações da Faculdade de Engenharia. A máquina utilizada para o efeito é da marca MTS e encontra-se no Laboratório de Ensaios Tecnológicos do Departamento de Engenharia Mecânica. A Figura 4.11 mostra a máquina em questão.



Figura 4.11 – Máquina de Tracção. Marca: MTS

Os provetes utilizados no ensaio de tracção foram realizados a partir de um tubo cedido pelo construtor Joaquim Soares. Assim, o tubo foi cortado, espalmado e só depois cortado numa máquina de CNC também existente nas instalações da Faculdade. A Figura 4.12 ilustra os provetes utilizados e as suas dimensões encontram-se no Anexo C.



Figura 4.12 – Provete utilizado nos ensaios de tracção.

O extensómetro utilizado para medir as deformações pertence também à marca MTS e está representado na Figura 4.13 onde se vê o primeiro provete instalado na máquina para o ensaio.



Figura 4.13 – Provete instalado na máquina e extensómetro.

Visto o ensaio ter sido realizado até à rotura, foi possível analisar a secção de rotura e concluir que se trata de um material dúctil. A Figura 4.14 apresenta os provetes após ensaio.

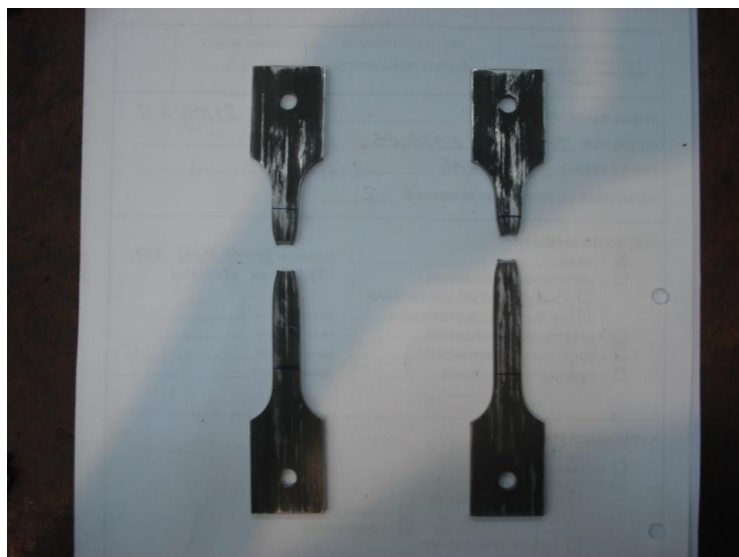


Figura 4.14 – Provete após ensaio.

Após análise dos dados fornecidos pelo computador foi possível criar as curvas de tensão-deformação representadas na Figura 4.15 e Figura 4.16.

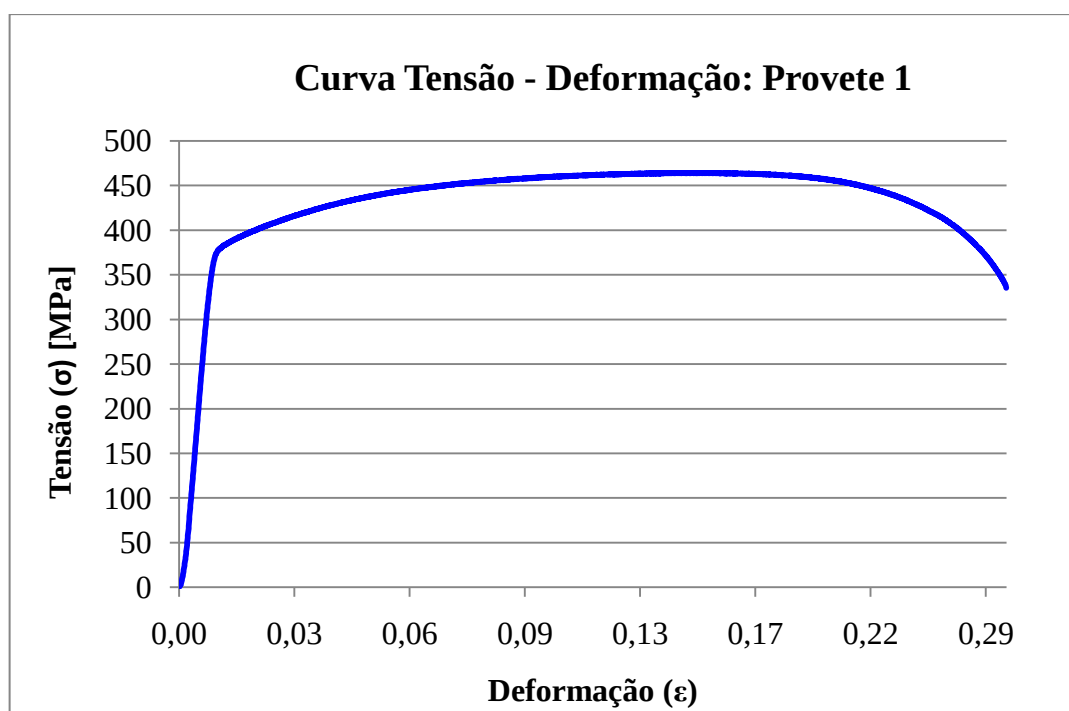


Figura 4.15 – Curva tensão-deformação: Provete 1.

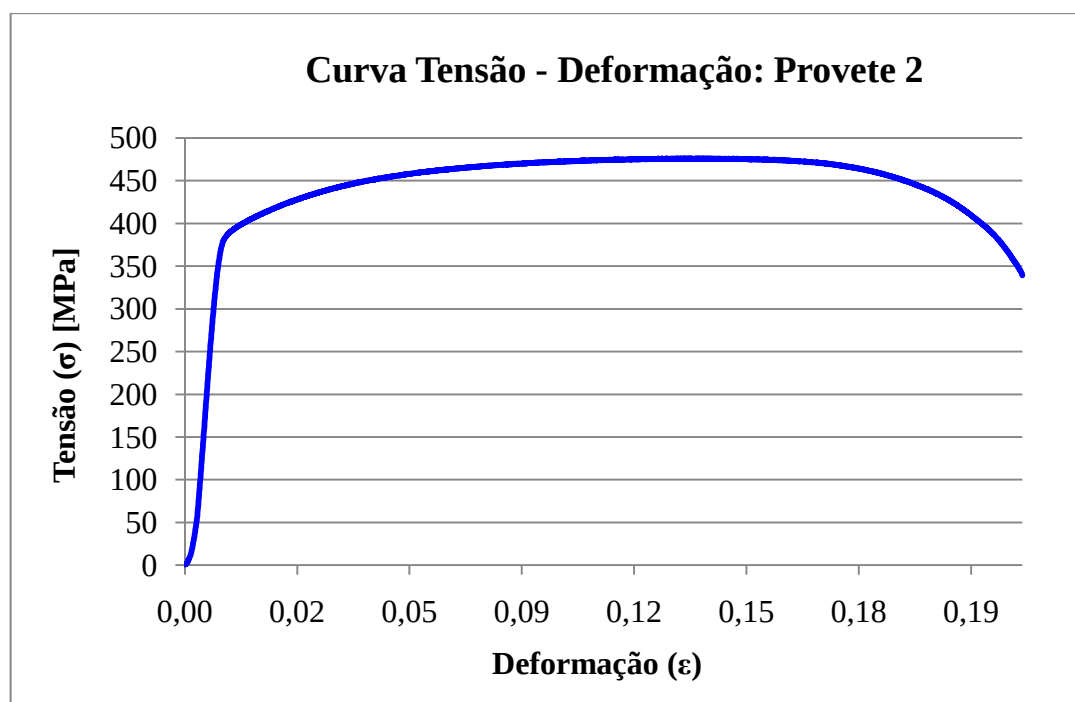


Figura 4.16 – Curva tensão-deformação: Provete 2.

De uma primeira observação dos gráficos verificou-se que este aço não apresenta patamar de cedência e após tratamento dos dados foi possível obter as propriedades mecânicas presentes na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Propriedades Mecânicas dos provetes.

Propriedade Mecânica	Provete 1	Provete 2	Média	Valores Teóricos
Tensão limite elasticidade [<i>MPa</i>]	381,85	352,66	367,26	215
Extensão no limite elástico [%]	0,565	0,1926	0,3788	-
Tensão Máxima [<i>MPa</i>]	464,23	476,04	470,13	350 - 480
Extensão após rotura [%]	30,09	18,79	24,44	25
Extensão no ponto da tensão máxima [%]	15,15	13,74	14,44	-

Comparando os valores teóricos com os valores obtidos no ensaio de tracção verifica-se que o limite de elasticidade experimental apresenta um valor bastante superior ao teórico. Este valor pode dever-se ao facto do valor teórico ser apenas um valor mínimo de referência que os fabricantes apresentam e ao facto do material ter sofrido algum encruamento no processo de criação dos provetes.

O valor da tensão de rotura obtido está dentro dos limites teóricos esperados, no entanto perto do valor superior.

Em relação à extensão após rotura, a média dos valores obtidos está próxima do valor teórico, mas uma vez que os valores particulares dos ensaios são muito diferentes não se pode obter uma conclusão concreta. Fica por isso provado a necessidade de realização de mais ensaios de tracção a fim de concluir melhor quanto às propriedades mecânicas do aço.

4.3. Características do Arco que estão em desacordo com o Anexo “J”

Analizando ao pormenor o regulamento do artigo 253 do anexo J encontram-se várias irregularidades nas características do arco. Neste capítulo estão apresentadas todas as diferenças ou omissões em relação ao referido anexo.

4.3.1. Elemento Diagonal

Segundo o regulamento presente no anexo J, para viaturas homologadas após 01-01-2002, o arco de segurança deve comportar dois elementos diagonais no arco principal conforme representado da Figura 2.5 do ponto 2.2.1 do presente relatório.

Uma vez que a viatura em análise foi homologada em 2007 deveria apresentar esses elementos, no entanto analisando a Figura 4.17 vê-se que este arco não os apresenta.



Figura 4.17 – Arco de segurança. Ausência de elementos diagonais no arco principal.

4.3.2. Reforço do Tejadilho

Segundo o regulamento presente no anexo J, para viaturas homologadas após 01-01-2005, a parte superior do arco de segurança deve estar conforme um dos desenhos representados na Figura 2.8 no ponto 2.2.3 do presente relatório.

Uma vez que a viatura em análise foi homologada em 2007 deveria apresentar esses elementos, no entanto analisando a Figura 4.17 vê-se que este arco não os apresenta.



Figura 4.18 – Arco de segurança. Ausência de reforços de tejadilho.

4.3.3. Material

As especificações do material presentes no relatório apresentam valores limites para as percentagens dos elementos químicos e valores mínimos para a resistência à tracção. Para além disso obriga que os tubos sejam estirados a frio e sem costura.

Como referido no ponto 4.2.1 o material cumpre os requisitos relativos à composição química. No que toca às propriedades mecânicas, tanto os valores teóricos como os valores obtidos nos ensaios de tracção obedecem ao regulamento pois apresentam uma tensão de rotura (resistência à tracção) superior ao valor mínimo.

Assim sendo, a única inconformidade encontrada diz respeito ao modo de obtenção dos tubos, que devem ser estirados a frio e não a quente como é o caso.

5. Concepção Geométrica

5.1. Introdução

Com o objectivo de desenhar uma estrutura a mais correcta possível do ponto de vista geométrico foi feita uma visita à Empresa onde os arcos de segurança são construídos. Deste modo foi possível ter um contacto directo com o construtor Joaquim Soares, ficando a conhecer melhor o modo de construção, os diâmetros dos tubos usados e ainda o tipo de ligações usadas.

Estas ligações, como referido anteriormente, são ligações fornecidas pela empresa OMP. Uma vez que estas ligações se encontram montadas no arco, o construtor Joaquim Soares forneceu uma dessas ligações (Figura 5.1) permitindo uma melhor medição das dimensões e consequentemente melhor concepção.



Figura 5.1 – Junção OMP.

A medição das ligações OMP e alguns pormenores do arco de segurança foram realizadas com um paquímetro e as restantes dimensões foram retiradas com uma fita métrica.

A estrutura base do arco de segurança em questão segue a terceira concepção referida no ponto 2.1 do presente relatório. Assim sendo, é constituída por um arco principal, dois semi-arcos laterais, um membro transversal e dois membros de prolongamento traseiro como se vê na Figura 5.2.

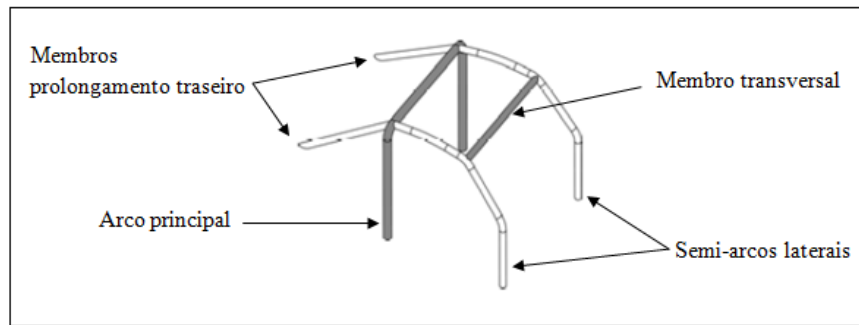


Figura 5.2 – 3ª Forma base de construção de um arco de segurança.

Para além da estrutura base, o arco apresenta alguns elementos de reforço de acordo com o anexo J.

O arco principal apresenta um diâmetro exterior de 48,4 mm e uma espessura de 2,6 mm. Todos os outros membros apresentam a mesma espessura mas com um diâmetro exterior de 42,4 mm. No que toca aos elementos de reforço, estes também apresentam as dimensões de 42,4 mm para o diâmetro exterior e 2,6 mm de espessura à excepção da barra que funciona como barra anti-aproximação traseira e os elementos dos cintos de segurança que apresentam um diâmetro exterior de 26,8 mm e uma espessura de 2,2 mm.

5.2. Fases da Concepção

O programa usado para desenhar o arco de segurança foi o SolidWorks. Assim, desenharam-se as peças individualmente e de seguida efectuou-se a montagem (“Assembly”) das mesmas. Estas peças (ou partes do arco) são: Arco principal, arcos laterais, reforços e junções OMP.

5.2.1. Arco Principal

A ferramenta do SolidWorks utilizada para construir o arco principal e todos os elementos tubulares do arco de segurança foi o Swept Boss/Base. Com esta ferramenta basta desenhar o perfil desejado e o caminho em dois sketch distintos colocando o perfil numa das extremidades do caminho. Para a construção do arco principal foi utilizado o perfil que se encontra representado na Figura 5.3 e o caminho na Figura 5.4.

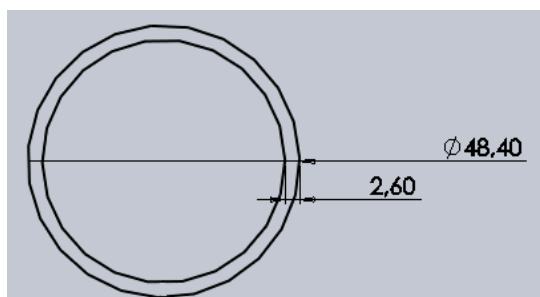


Figura 5.3 – Perfil – Arco principal.

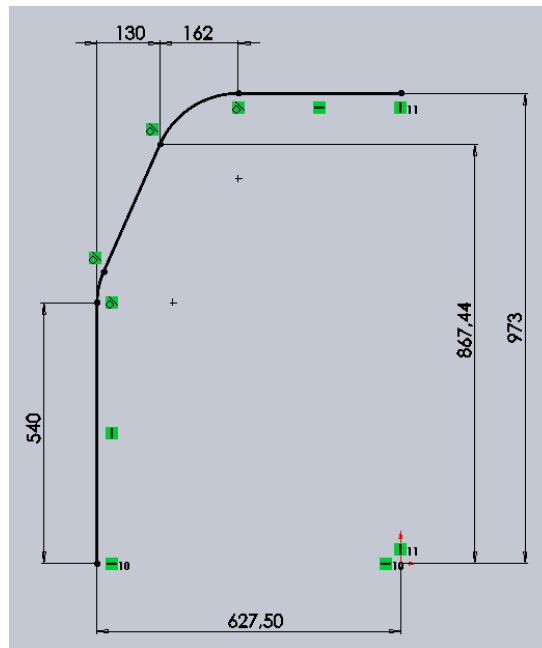


Figura 5.4 – “Esqueleto” (caminho) – Arco Principal

A solução encontrada pelo SolidWorks para este caso encontra-se representada na Figura 5.5.

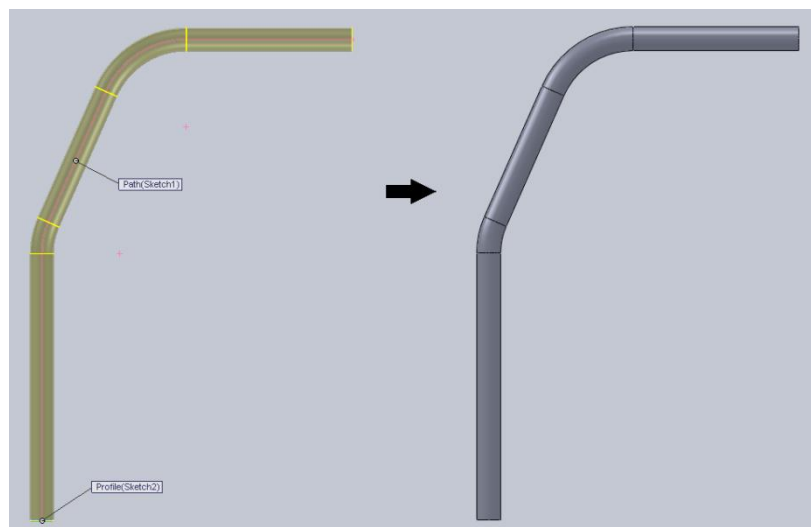


Figura 5.5 – Construção arco principal.

Depois de criar o arco principal, com um “Mirror” da figura anterior, procedeu-se ao desenho dos restantes elementos que lhe estão adjacentes. Como se pode ver na Figura 5.6, estes elementos são os membros de prolongamento traseiros, o “X” de reforço, barra anti-aproximação, elementos para os cintos de segurança e os elementos que vão fazer a ligação com os arcos laterais. De seguida bastou desenhar os apoios que fazem a ligação entre o arco de segurança e o carro e os furos para ligação do arco principal aos arcos laterais.

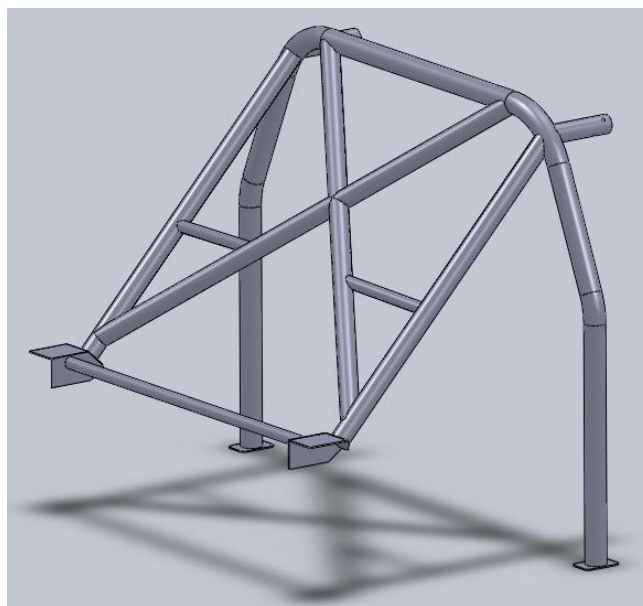


Figura 5.6 – Arco principal desenhado.

Por último é necessário corrigir as ligações entre os tubos. Ou seja, o contacto entre os tubos dá-se apenas à face, não havendo intersecções para o interior dos mesmos. Na Figura 5.7 e Figura 5.8 estão representados alguns exemplos onde foi necessário efectuar estas correcções. Este é um ponto importante a ter em conta pois, pode causar problemas na criação da malha de elementos finitos, necessária para a realização da análise da estrutura.

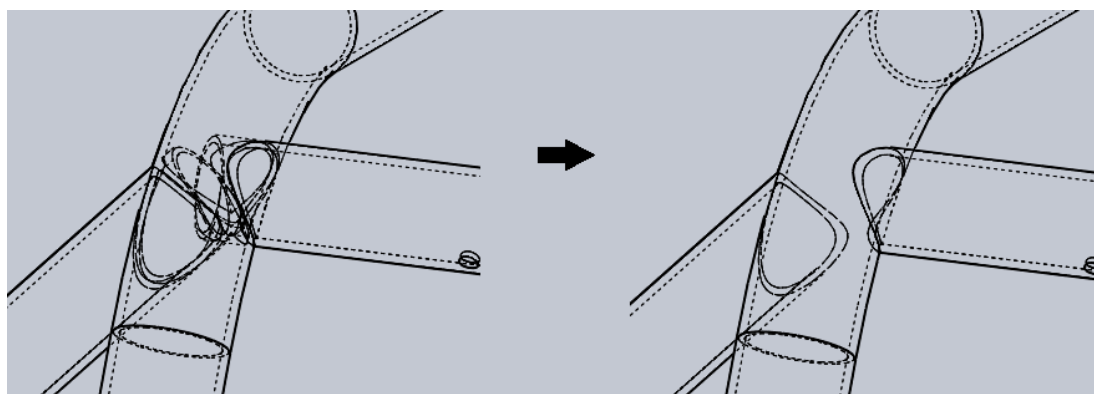


Figura 5.7 – Pormenor: Rectificação da união dos tubos no arco principal.

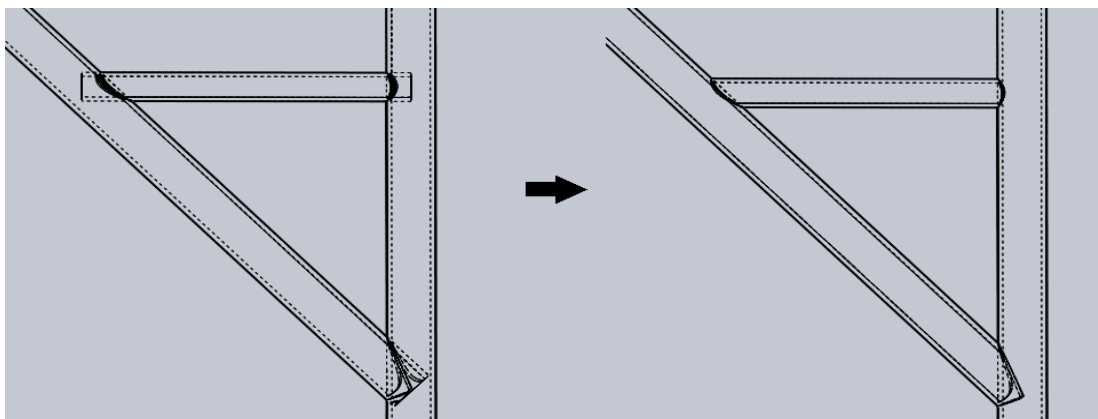


Figura 5.8 – Pormenor: Rectificação da união dos tubos que vão ao encontro dos membros de prolongamento traseiro.

5.2.2. Arcos Laterais

Na Figura 5.9 estão representados os arcos laterais com o respectivo membro transversal. Estes arcos foram concebidos da mesma forma que o arco principal, ou seja utilizando a ferramenta “Swept Boss/Base”, mudando apenas o diâmetro do tubo.



Figura 5.9 – Arcos laterais.

Os arcos laterais apresentam a particularidade de possuir 2 pequenos elementos de reforço (Figura 5.10). Estes reforços têm um diâmetro igual ao tubo em que estão fixados.

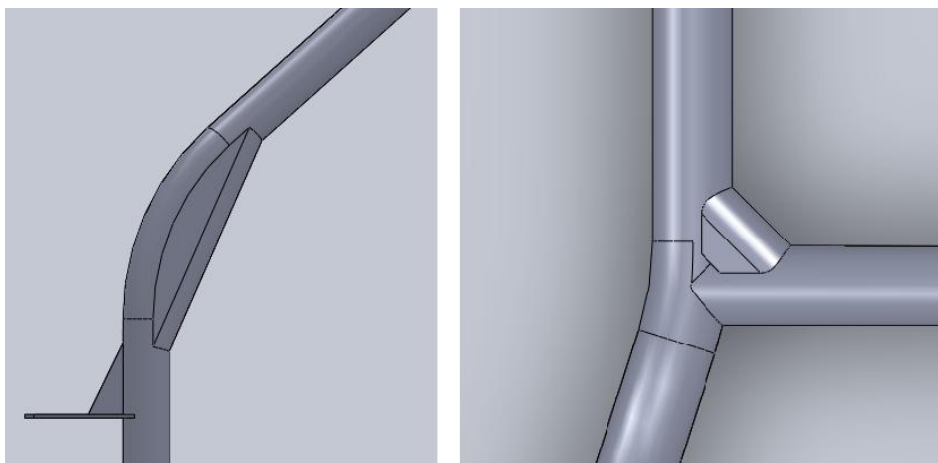


Figura 5.10 – Reforços dos arcos laterais.

5.2.3. Reforços e Elementos de Ligação

Para que o arco de segurança possa ser desmontável são necessários elementos que façam a ligação das peças. Assim, os elementos de ligação necessários para este arco são as junções OMP e as mangas de ligação.

A junção OMP, representada na Figura 5.11, como referenciado anteriormente é responsável pela ligação dos reforços ao resto da estrutura. Esta junção é formada por duas partes. Uma fica solidária com o reforço e a outra com o respectivo arco (Figura 5.12). Para efectuar a ligação é usado um parafuso e uma porca M10.

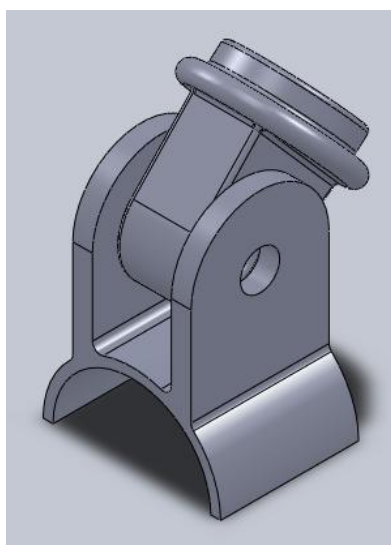


Figura 5.11 – Junção OMP.

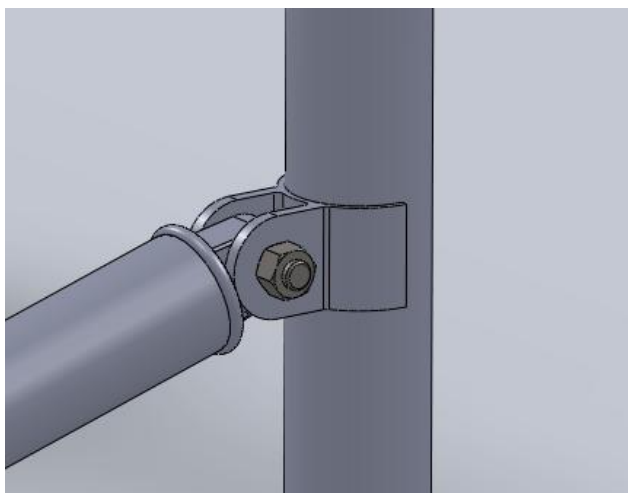


Figura 5.12 – Junção OMP introduzida na estrutura.

No que diz respeito à manga de ligação (Figura 5.13), esta apresenta um papel muito importante pois efectua a ligação entre o arco principal e os arcos laterais. Desta forma, e para que não comprometa a segurança da estrutura ela é efectuada com 4 parafusos e 4 porcas M8 como se vê na Figura 5.14.

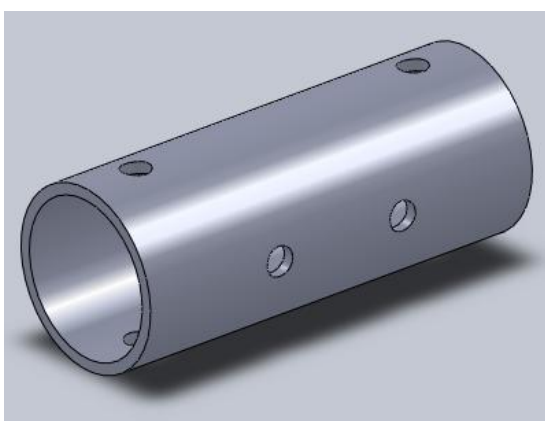


Figura 5.13 – Manga de ligação.

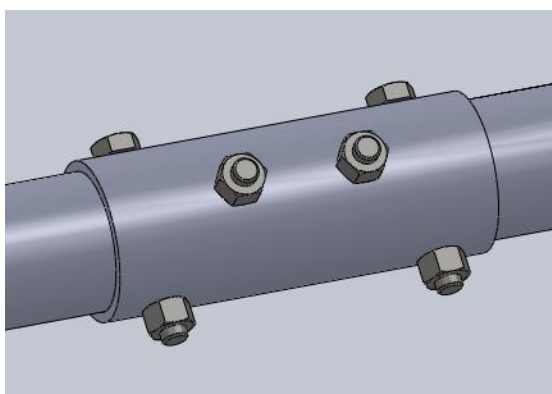


Figura 5.14 – Manga de ligação introduzida na estrutura.

5.2.4. Estrutura Final

Depois de desenhar todos os componentes da estrutura basta introduzi-los num “assembly”. De seguida efectuam-se os “mates” para se colocar as peças nas posições correctas e garantir que as ligações correspondam à realidade. Ou seja, é necessário restringir os movimentos em todas as direcções quando se quer uma peça encastrada relativamente à outra como acontece na ligação entre o arco principal e os arcos laterais. Já no caso dos reforços o movimento de rotação relativamente ao eixo dos parafusos é permitido. Para finalizar foram introduzidos os parafusos nos respectivos sítios como demonstrado no anteriormente.

O resultado final apresenta-se na Figura 5.15 e para termos de comparação com o arco de segurança anteriormente construído apresenta-se a Figura 5.16.

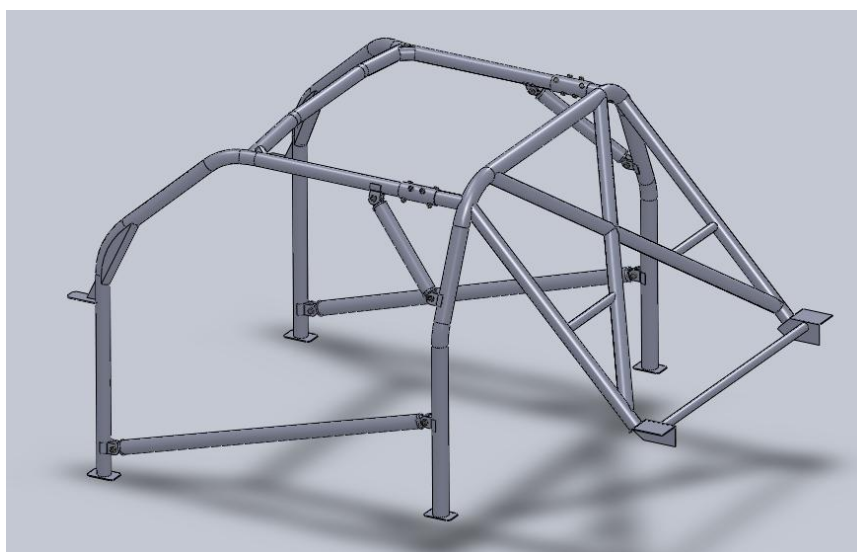
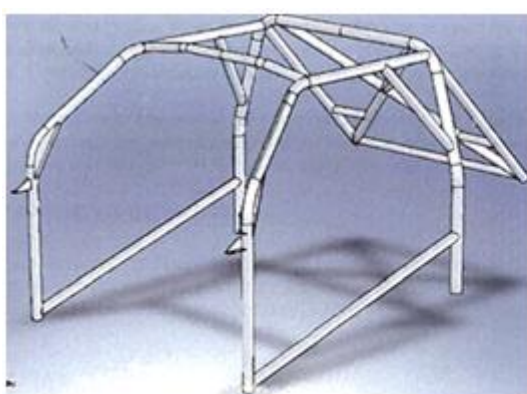
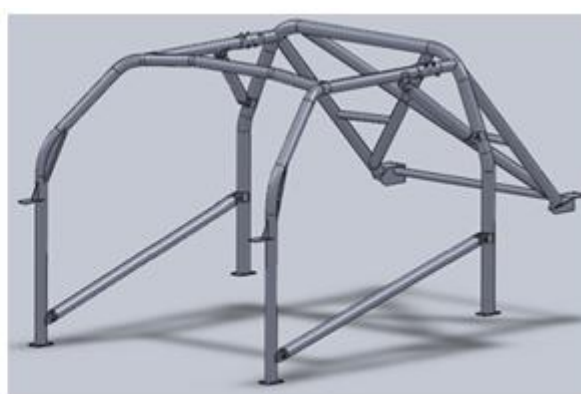


Figura 5.15 – Estrutura final.



a)



b)

Figura 5.16 – a) Desenho da primeira concepção do arco de segurança, b) Desenho da segunda concepção do arco de segurança.

Na Figura 5.17, Figura 5.18 e Figura 5.19 estão representadas as vistas de cima, lateral e anterior da estrutura final, respectivamente.

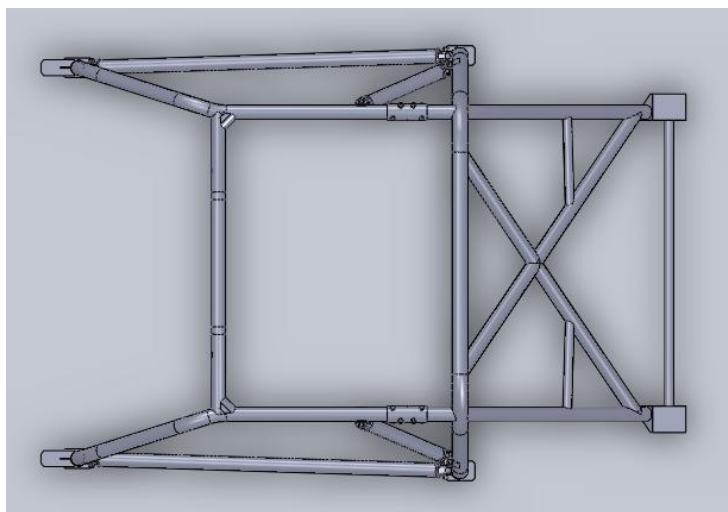


Figura 5.17 – Vista de cima – Estrutura final.

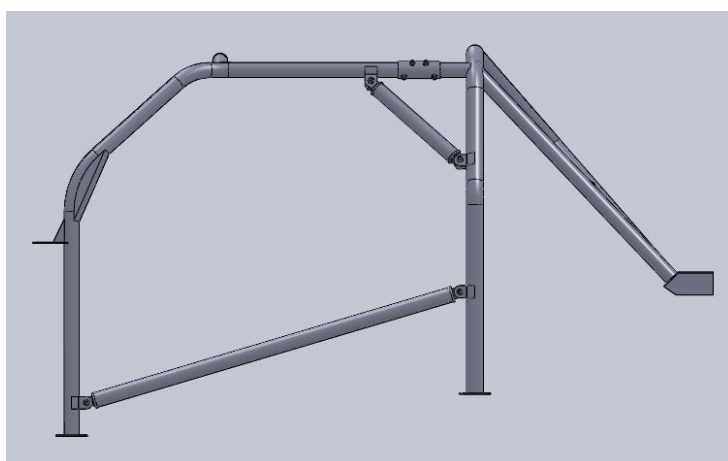


Figura 5.18 – Vista lateral – Estrutura final.

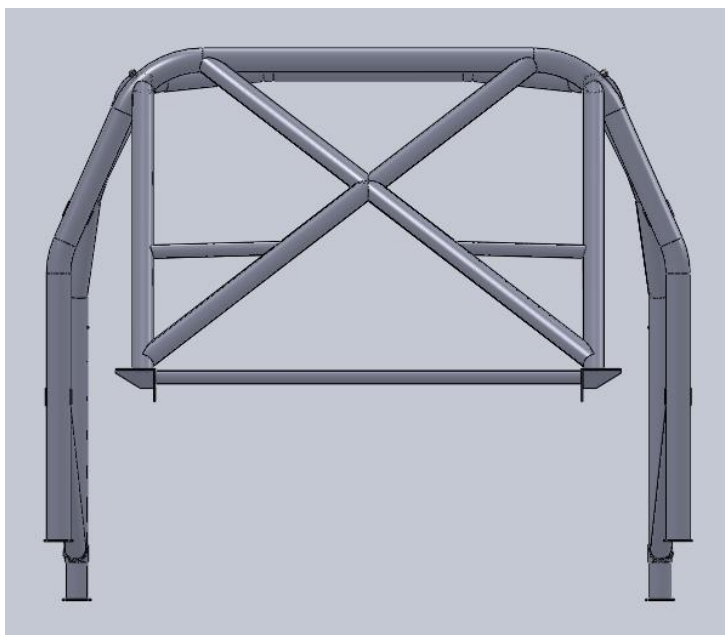


Figura 5.19 – Vista anterior – Estrutura final.

6. Teste e Validação dos Resultados obtidos no Programa SolidWorks

A análise numérica do arco de segurança foi efectuada com o mesmo programa (SolidWorks) utilizado para desenhar a estrutura, através da ferramenta “SolidWorks Simulation”.

Antes de iniciar a análise concreta ao nível das tensões e deslocamentos é necessário validar o programa com alguns exemplos simples que possam ser calculados analiticamente e, desta forma ter um valor teórico de referência.

O elemento escolhido para ser alvo desta validação foi um tubo de perfil circular (Figura 6.1) visto ser o elemento mais comum na estrutura a analisar. Este elemento foi sujeito a um ensaio de tracção e um de flexão, ambos tendo em conta uma análise linear elástica.

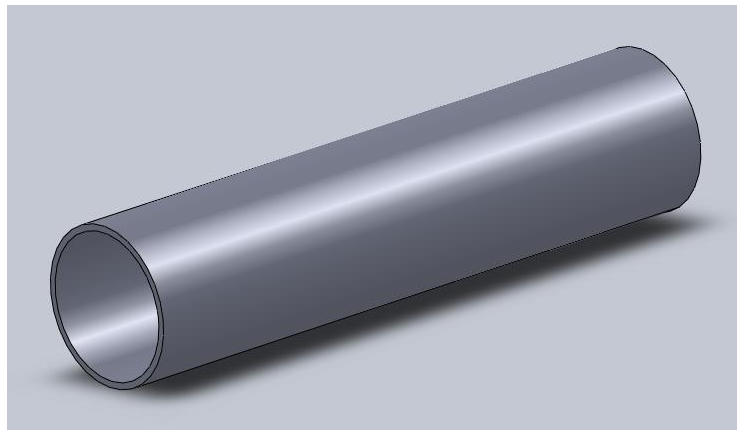


Figura 6.1 – Tubo para validação.

Este elemento apresenta um diâmetro exterior de 48 mm com uma espessura de 2 mm e um comprimento de 200 mm. A área da secção é $289,03 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

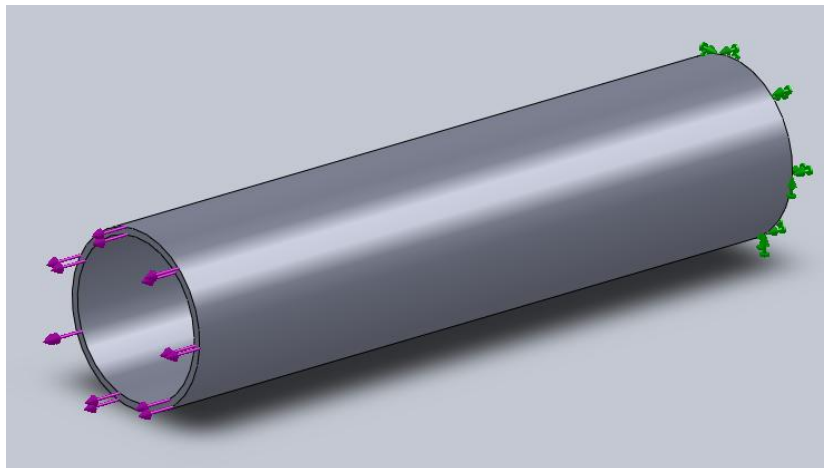
O material escolhido para o estudo foi um aço AISI 1010, que se encontra na biblioteca de materiais do SolidWorks. Este material apresenta as propriedades mecânicas presentes na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Propriedades mecânicas aço AISI 1010

Propriedade	Valor
Módulo de elasticidade E	200 <i>GPa</i>
Tensão de rotura R_m	325 <i>MPa</i>
Tensão limite de elasticidade $R_{p0.2}$	180 <i>MPa</i>

6.1. Ensaio de Tracção

Para a realização do ensaio de tracção considerou-se uma das faces dos topos encastrada e na face oposta foi aplicada uma força de 50×10^3 N, como representado na Figura 6.2.

**Figura 6.2 – Condições de fronteira – Ensaio tracção.**

6.1.1. Cálculo Analítico

A tensão de tracção para este caso é dada por:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} = \frac{50 \times 10^3}{289,03 \times 10^{-6}} = 172,995 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Através da lei de Hooke é possível calcular a deformação:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{172,995 \times 10^6}{200 \times 10^9} \times 100 \cong 0,0865$$

Assim, o deslocamento vem:

$$u = 200 * 0,0865 = 0,1730 \text{ mm}$$

6.1.2. Cálculo Numérico

Como foi dito anteriormente, o cálculo numérico foi realizado com a ferramenta do SolidWorks “Simulation”.

Assim sendo, primeiro é necessário criar a malha de elementos finitos. O SolidWorks apresenta três tipos de elementos:

- Elementos sólidos;
- Elementos de casca e
- Elementos de viga.

Neste cálculo numérico foram testados os elementos sólidos e de casca. Para cada tipo de malha foram testados 3 tamanhos de elementos:

- Elementos médios: Malha normal;
- Elementos intermédios: Malha intermédia;
- Elementos pequenos: Malha fina.

Para cada tipo e tamanho de malha foram comparados os valores das tensões e deslocamentos com os valores teóricos e calculado o erro.

6.1.2.1. Elementos Sólidos

A Figura 6.3 mostra um pormenor da malha de elementos sólidos numa das extremidades do tubo. Os elementos sólidos utilizados foram os elementos parabólicos de 10 nós, formando assim uma malha de alta qualidade.

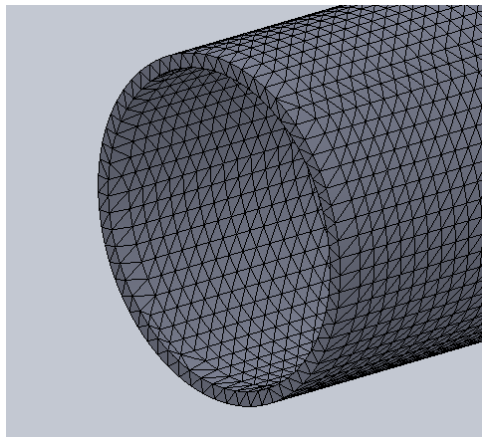


Figura 6.3 – Pormenor: Malha elementos sólidos.

Após algum tempo de cálculo, o programa devolve os diagramas da tensão, deslocamentos e deformações, com as respectivas legendas. Na Figura 6.4 apresenta-se o diagrama de tensões para o caso de malha fina com elementos sólidos e na Figura 6.5 o diagrama de deslocamentos.

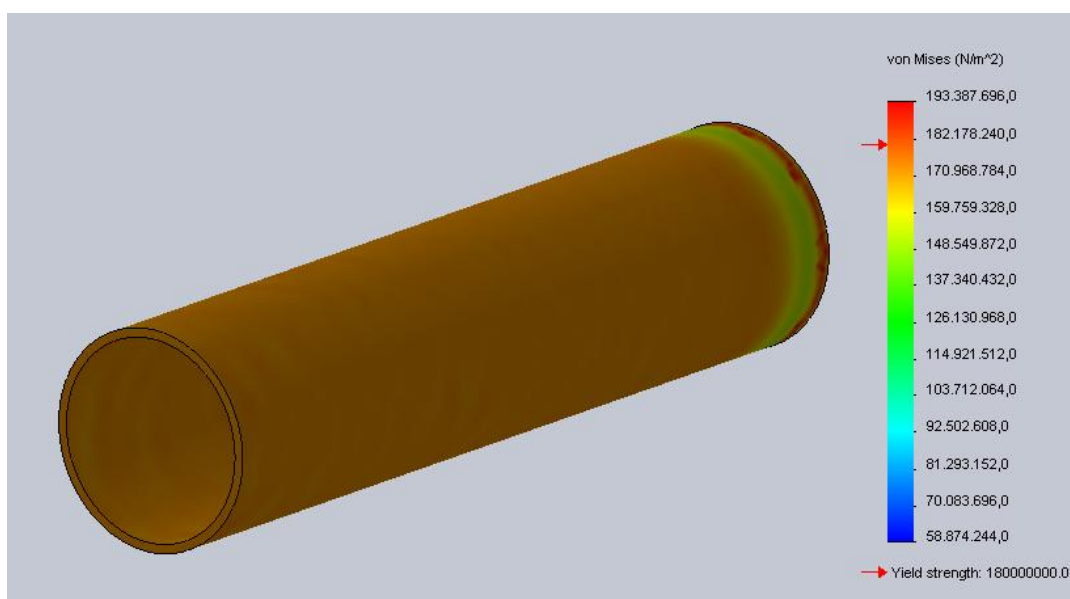


Figura 6.4 – Diagrama tensões com elementos sólidos – Ensaio tracção.

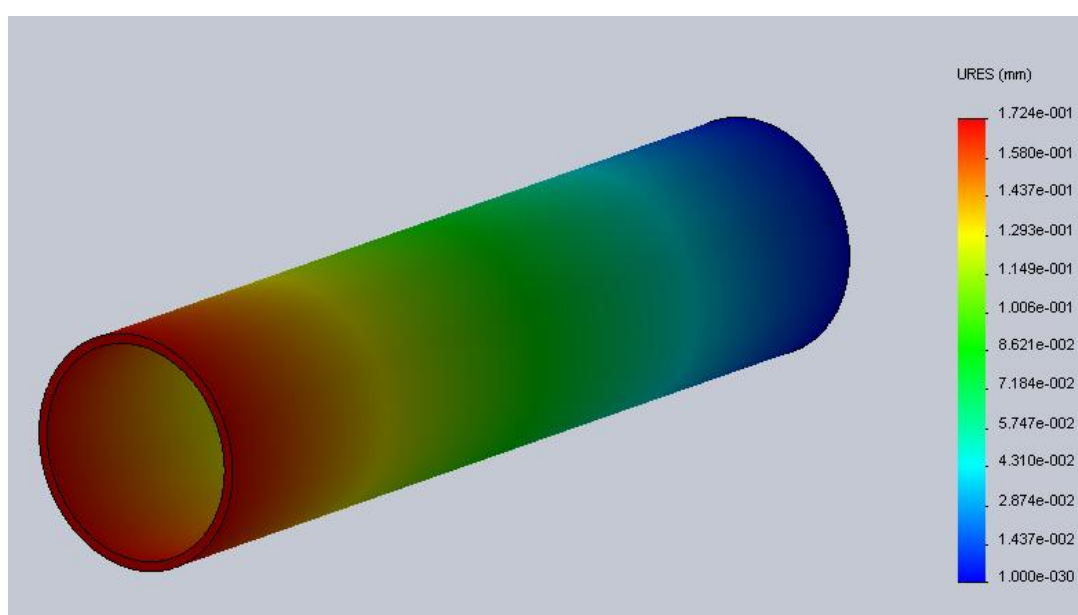


Figura 6.5 – Diagrama deslocamentos com elementos sólidos – Ensaio tracção.

Para se calcular o valor da tensão numericamente é necessário ter cuidado com os valores máximos exibidos pelo programa pois, estes correspondem a lugares onde ocorreu uma concentração de tensões. Esta concentração de tensões deve-se ao facto da face estar encastrada. Na Figura 6.6 está representada a zona onde ocorre esta concentração de tensões e o valor máximo da tensão, na zona a vermelho.

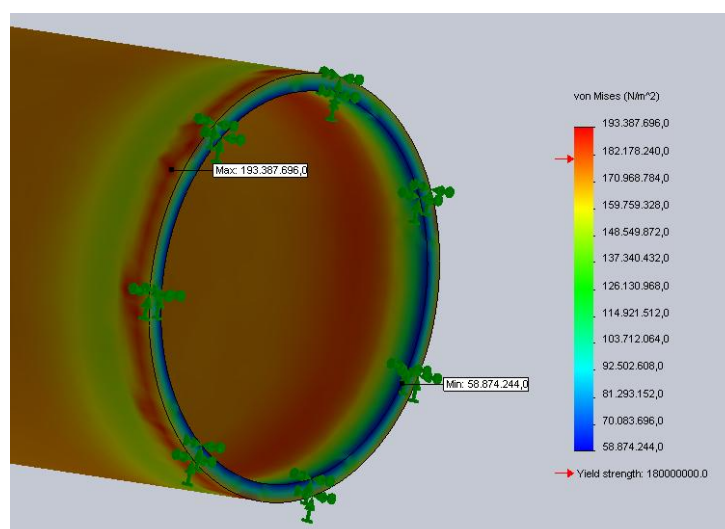


Figura 6.6 – Pormenor: Concentração de tensões.

Assim sendo, foi calculado o valor da tensão média presente nas faces do tubo através da ferramenta “Probe Result” como se mostra na Figura 6.7 e Figura 6.8.

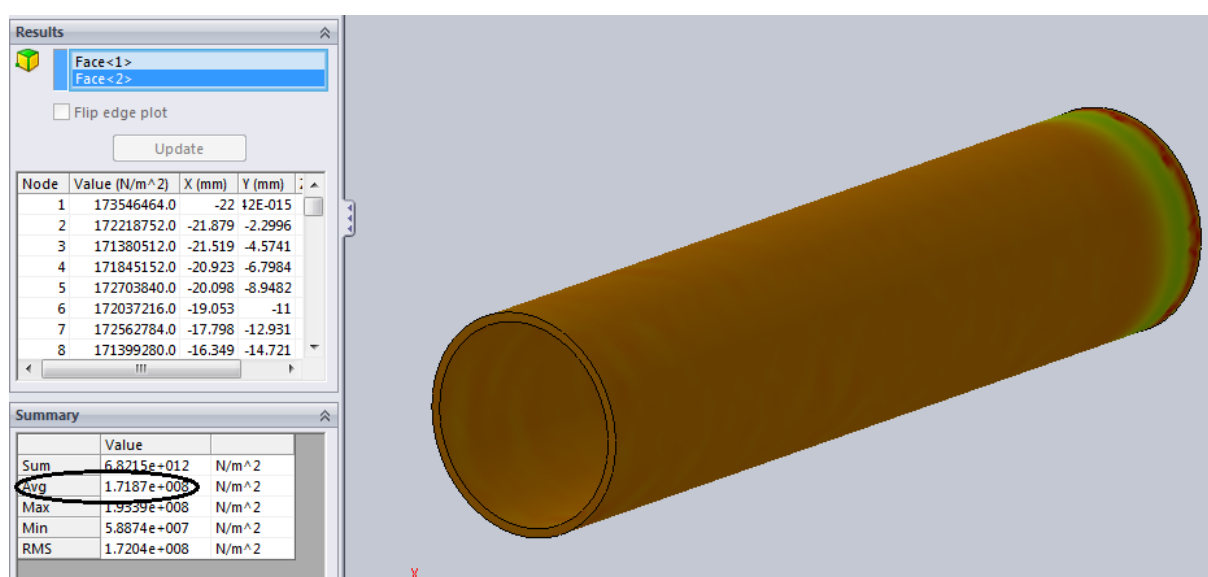


Figura 6.7 – Cálculo da tensão média.

Summary		
	Value	
Sum	6.8215e+012	N/m ²
Avg	1.7187e+008	N/m ²
Max	1.9539e+008	N/m ²
Min	5.8874e+007	N/m ²
RMS	1.7204e+008	N/m ²

Figura 6.8 – Tensão média.

O cálculo do deslocamento foi retirado directamente do valor máximo que o SolidWorks mostra na legenda do diagrama de deslocamentos como se vê na Figura 6.5.

Na Tabela 6.2 apresentam-se os resultados da análise em termos de tensões e deslocamentos, assim como o número de elementos utilizados por cada malha, a sua largura e tolerância e o tempo necessário para a sua criação.

Na Tabela 6.3 apresentam-se os erros resultantes dos testes com os vários tipos de malha.

Tabela 6.2 – Resultados da análise com elementos sólidos – Ensaio tracção.

Malha	Normal	Intermédia	Fina	Valores Teóricos
Número de elementos	6672	14838	31473	-
Largura do elemento (<i>mm</i>)	5,19497	3,44318	2,41626	-
Tolerância (<i>mm</i>)	0,25975	0,17216	0,12081	-
Tempo para criação da malha (segundos)	7	14	37	-
Tensão média (<i>MPa</i>)	170,290	171,420	171,870	172,995
Deslocamento máximo (<i>mm</i>)	0,1708	0,1719	0,1724	0,1730

Tabela 6.3 – Comparação de erros com elementos sólidos – Ensaio tracção.

Malha	Normal	Intermédia	Fina
Erro associado à tensão (%)	1,6	0,9	0,7
Erro associado ao deslocamento (%)	1,3	0,6	0,3

Analisando a Tabela 6.2 e a Tabela 6.3 verifica-se que a malha de elementos sólidos se revelou eficaz pois apresenta baixo erro para os três tamanhos de elemento e, como seria de esperar à medida que se refina a malha os erros vão baixando. A malha intermédia revelou o melhor compromisso erros/tempo de execução.

6.1.2.2. Elementos de Casca

A Figura 6.9 mostra um pormenor da malha de elementos de casca numa das extremidades do tubo. Os elementos de casca utilizados foram os elementos triangulares parabólicos de 6 nós, formando assim uma malha de alta qualidade.

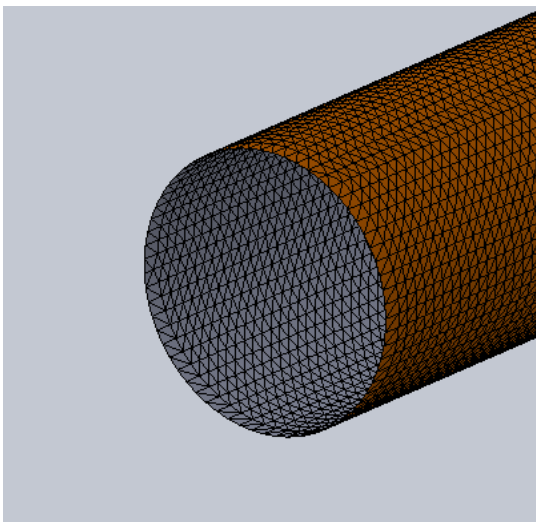


Figura 6.9 – Pormenor: Malha elementos de casca.

Na Figura 6.10 Figura 6.4 apresenta-se o diagrama de tensões para o caso da malha fina com elementos de casca e na Figura 6.11 o diagrama de deslocamentos.

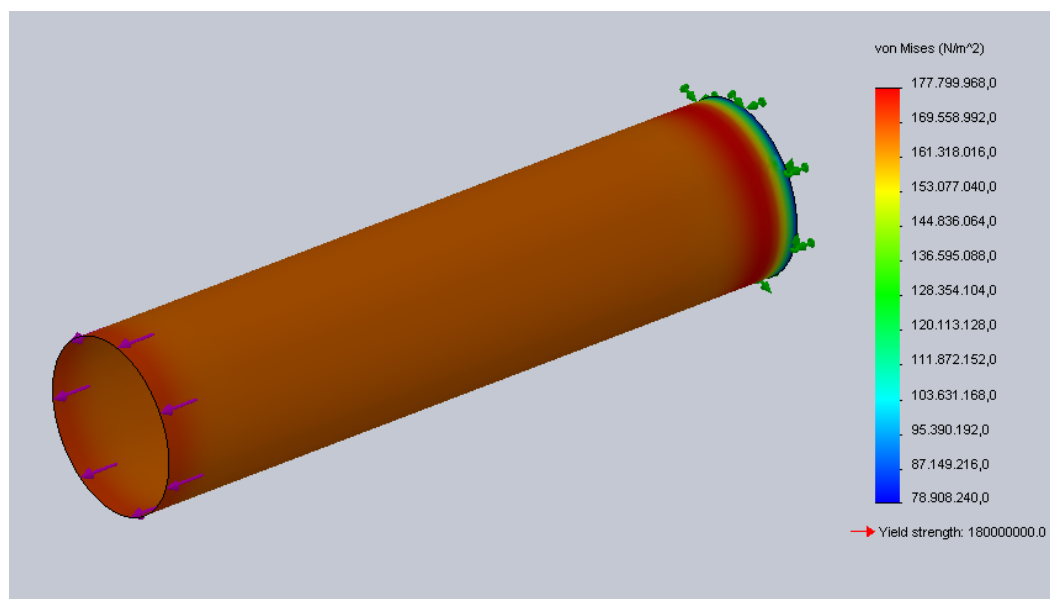


Figura 6.10 – Diagrama tensões com elementos de casca – Ensaio tracção.

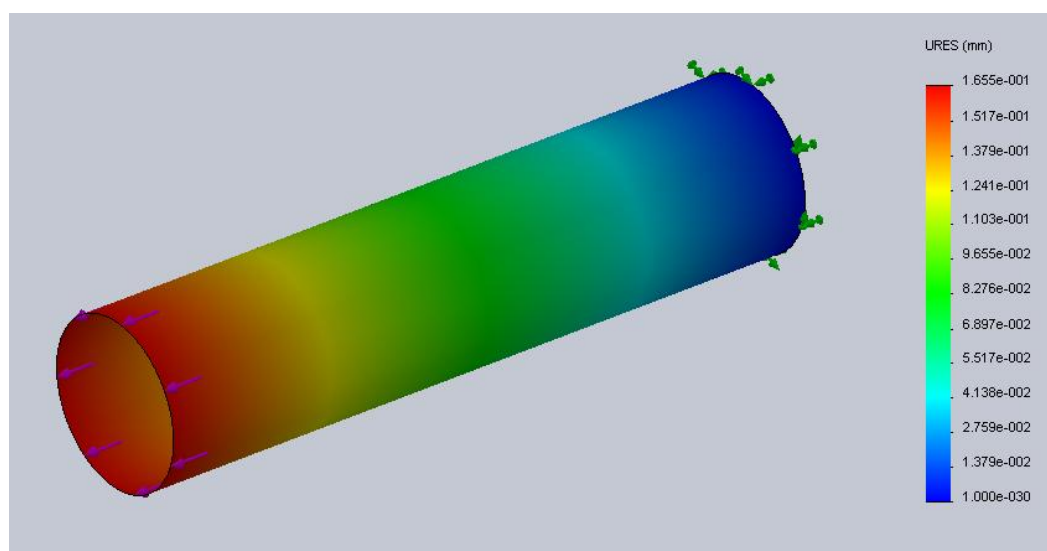


Figura 6.11 – Diagrama deslocamentos com elementos de casca – Ensaio tracção.

Como se vê na Figura 6.10, também neste caso ocorreu uma concentração de tensões, logo, o método adoptado para calcular a tensão foi o mesmo que utilizado no caso de elementos sólidos.

O cálculo do deslocamento foi retirado directamente do valor máximo que o SolidWorks mostra na legenda do diagrama de deslocamentos como se vê na Figura 6.11.

Na Tabela 6.4 apresentam-se os resultados da análise em termos de tensões e deslocamentos, assim como o número de elementos utilizados por cada malha, a sua largura e tolerância e o tempo necessário para a sua criação.

Na Tabela 6.5 apresentam-se os erros resultantes dos testes com os vários tipos de malha.

Tabela 6.4 – Resultados da análise com elementos de casca – Ensaio tracção.

Malha	Normal	Intermédia	Fina	Valores Teóricos
Número de elementos	2286	4734	10338	-
Largura do elemento (mm)	5,19497	3,56399	2,41626	-
Tolerância (mm)	0,25975	0,17820	0,12081	-
Tempo para criação da malha (segundos)	2	7	24	-
Tensão média (MPa)	165,7E+6	165,8E+6	165,9E+6	172,995E+6
Deslocamento máximo (mm)	0,1655	0,1655	0,1655	0,1730

Tabela 6.5 – Comparação de erros com elementos de casca – Ensaio tracção.

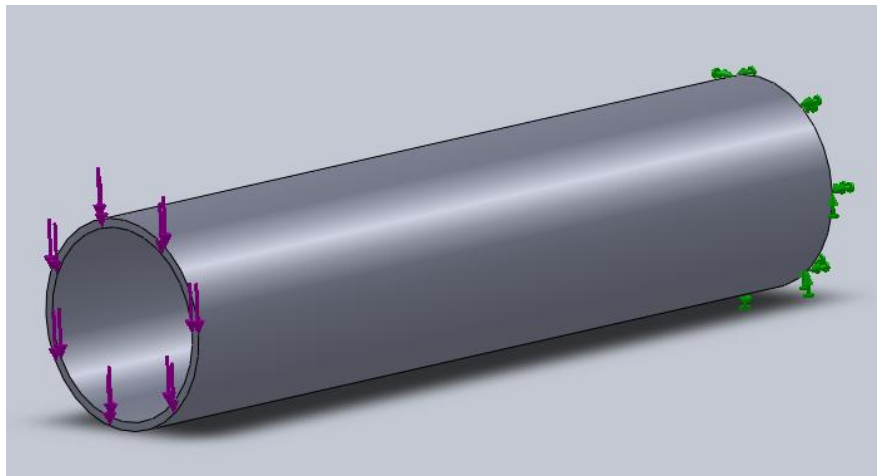
Malha	Normal	Intermédia	Fina
Erro associado à tensão (%)	4,2	4,1	4,1
Erro associado ao deslocamento (%)	4,3	4,3	4,3

Os ensaios realizados com elementos de casca apresentaram erros superiores aos ensaios realizados com elementos sólidos apresentando a vantagem de demorarem menos tempo na criação da malha.

Neste ensaio a malha normal revelou ser a ideal pois apresenta erros praticamente iguais à malha intermédia e fina mas com um tempo de criação bastante inferior.

6.2. Ensaio de Flexão

Para a realização do ensaio de flexão considerou-se uma das faces dos topos encastrada à semelhança do ensaio de tracção e na face oposta foi aplicada uma força de 1000 N, como representado na Figura 6.12.

**Figura 6.12 – Condições de fronteira – Ensaio flexão.**

6.2.1. Cálculo Analítico

No caso da flexão, a tensão é calculada da seguinte forma.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot Y_{max}}{I_z} = \frac{1000 \times 0,2 \times 0,024}{7,659 \times 10^{-8}} = 62,670 \times 10^6 \text{ Pa}$$

(Gomes, 2009)

$$\text{Com } I_z = \frac{\pi(r_{ext}^4 - r_{int}^4)}{4} = \frac{\pi(0,0024^4 - 0,0022^4)}{4} = 7,659 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

O valor do deslocamento é calculado através da equação da deformada seguinte.

$$y = \frac{Fx^3}{3EI}$$

(PETMEC, 2011)

Assim, para $x = L = 0,2$ resulta uma flecha máxima de valor igual a:

$$y_{max} = \frac{FL^3}{3EI} = \frac{1000 \times 0,2^3}{3 \times 200 \times 10^9 \times 7,659 \times 10^{-8}} = 1,741 \times 10^{-4} \text{ m}$$

6.2.2. Cálculo Numérico

Similarmente ao estudo efectuado para o ensaio de tracção também neste ensaio foram testados os elementos sólidos e de casca para os diferentes tamanhos de elementos da malha.

Para cada tipo e tamanho de malha foram comparados os valores das tensões e deslocamentos com os valores teóricos e calculado o erro.

6.2.2.1. Elementos Sólidos

Na Figura 6.13 apresenta-se o diagrama de tensões para o caso de malha fina com elementos sólidos e na Figura 6.14 o diagrama de deslocamentos.

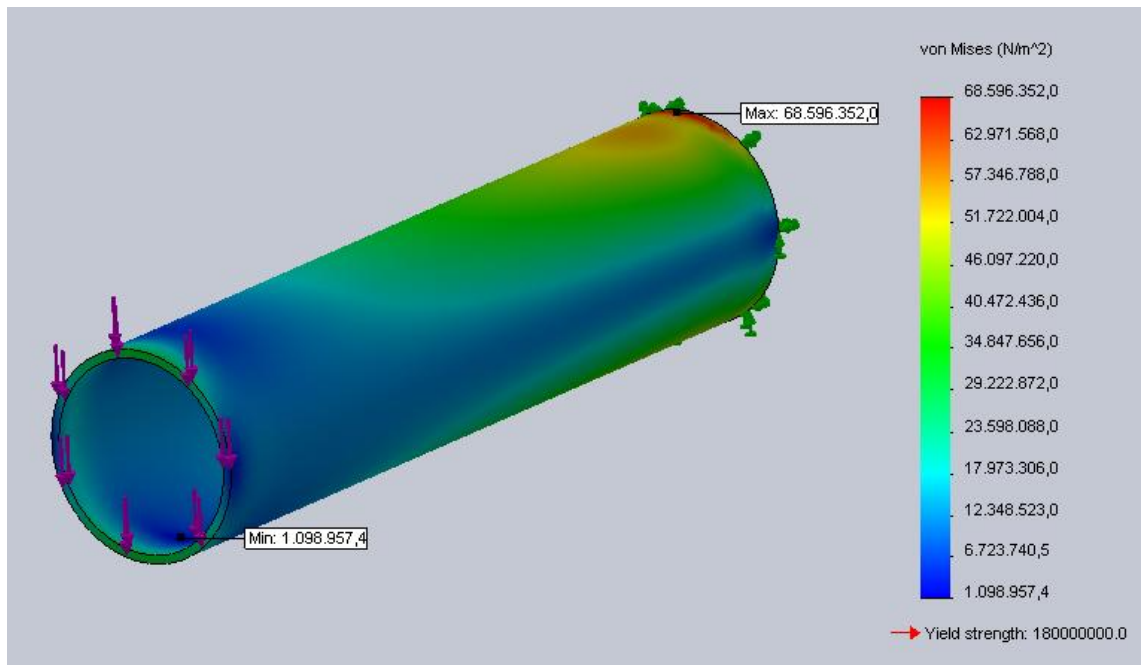


Figura 6.13 – Diagrama tensões com elementos sólidos – Ensaio flexão.

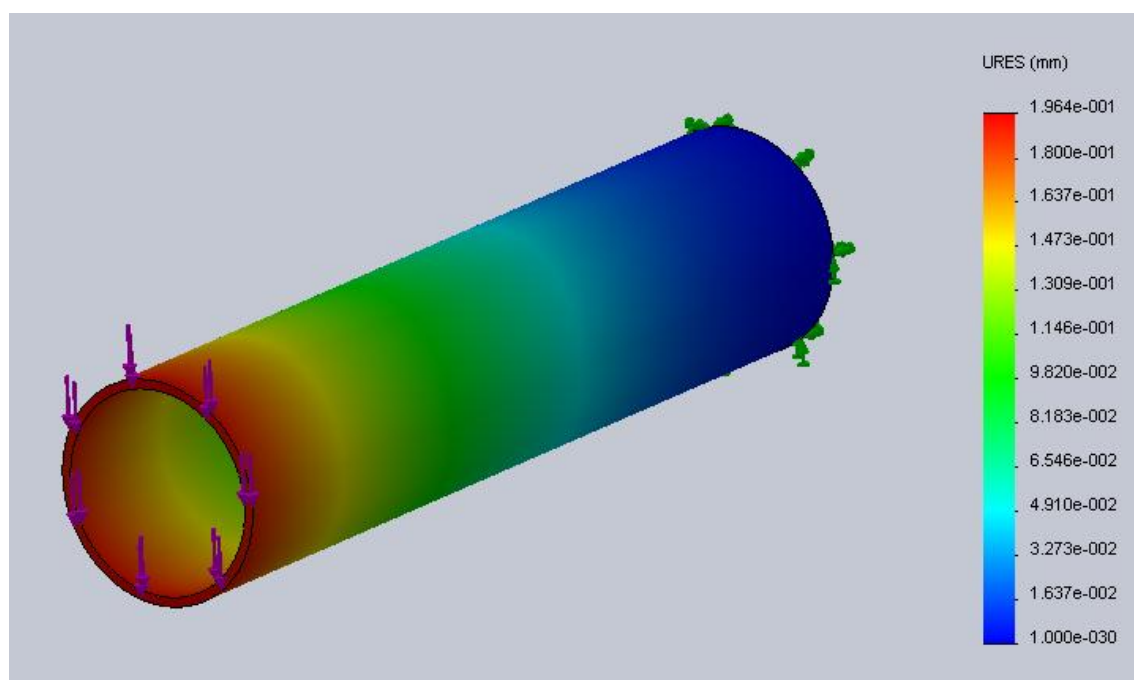


Figura 6.14 – Diagrama deslocamentos com elementos sólidos – Ensaio flexão.

Uma vez que o cálculo analítico da tensão se refere à secção mais próxima do encastramento, teve-se o cuidado de retirar do SolidWorks os valores correspondentes a esse lugar geométrico. Assim, com a ajuda da ferramenta “Prob results” é possível seleccionar a face onde se quer saber a tensão máxima e saber o seu valor. A Figura 6.15 e Figura 6.16 exemplificam este procedimento.

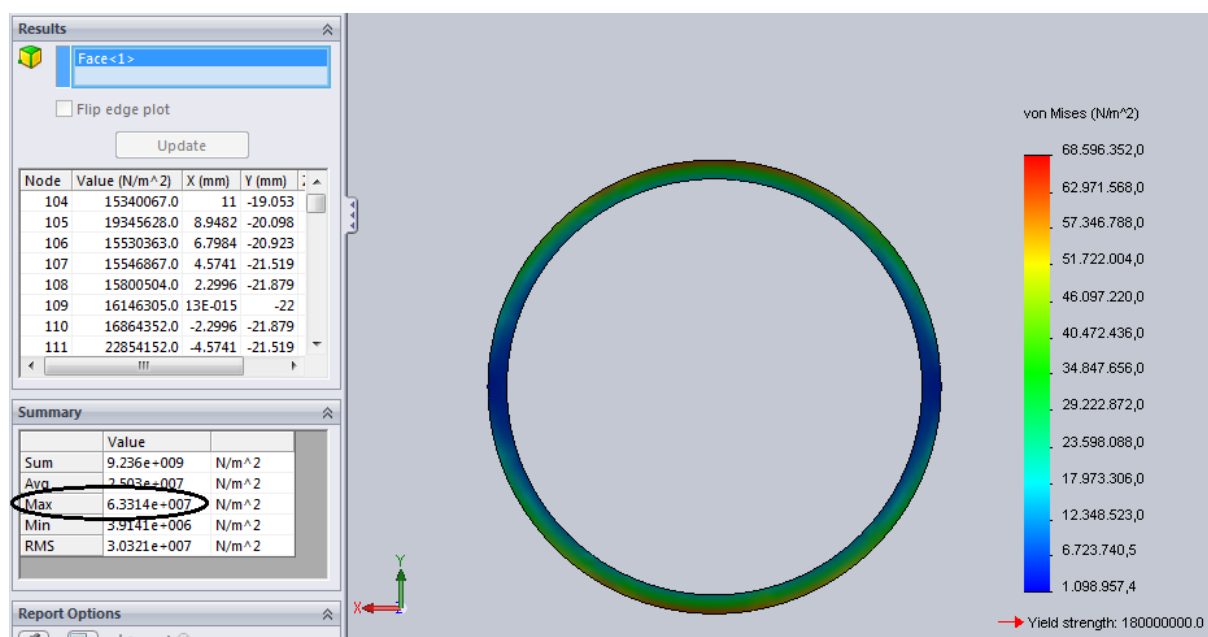
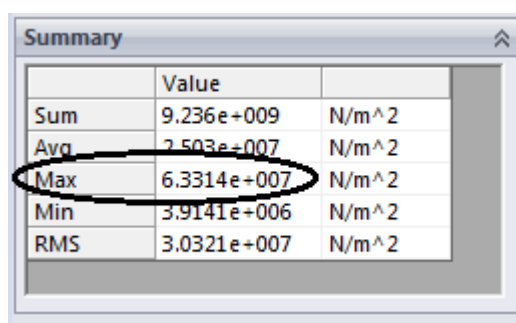


Figura 6.15 – Obtenção da tensão máxima.



	Value	
Sum	9.236e+009	N/m ²
Avg	2.503e+007	N/m ²
Max	6.3314e+007	N/m ²
Min	3.9141e+006	N/m ²
RMS	3.0321e+007	N/m ²

Figura 6.16 – Valor da tensão máxima.

Uma vez que o cálculo analítico do deslocamento corresponde ao valor da flecha (δ) máxima, este apenas se refere ao valor do deslocamento num eixo transversal ao tubo (Figura 6.17).

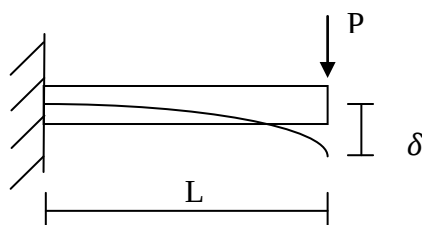
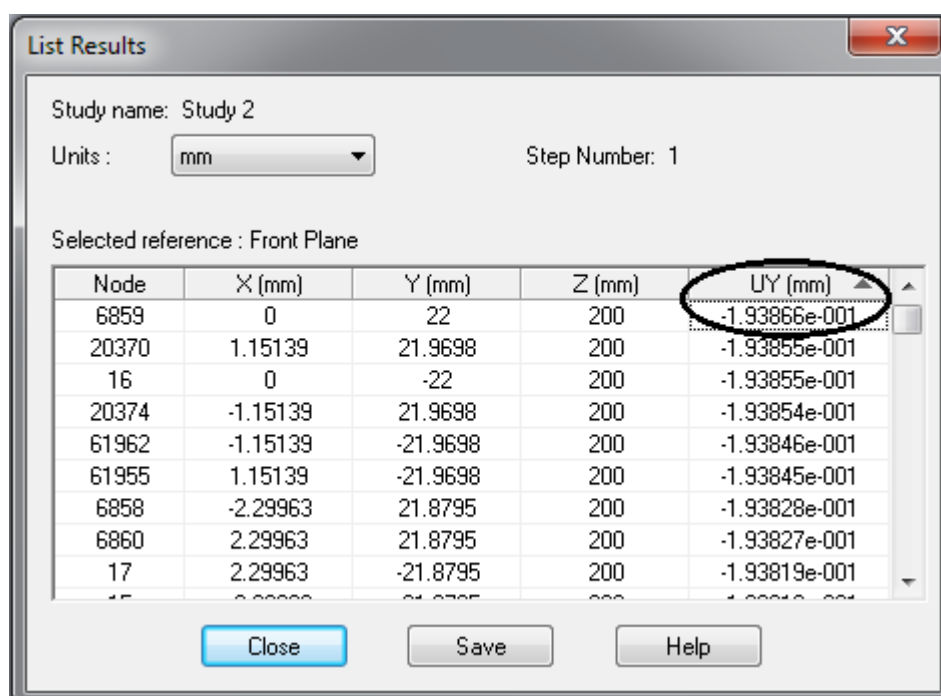


Figura 6.17 – Esquema flecha máxima.

Assim, como o eixo onde se encontra este valor δ é o eixo dos yy bastou listar o valor do deslocamento neste eixo de todos os nós e retirar o valor máximo. A Figura 6.18 mostra a janela que permite ver este valor para o caso da malha fina.



Study name: Study 2
Units: mm
Step Number: 1
Selected reference: Front Plane

Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	UY (mm)
6859	0	22	200	-1.93866e-001
20370	1.15139	21.9698	200	-1.93855e-001
16	0	-22	200	-1.93855e-001
20374	-1.15139	21.9698	200	-1.93854e-001
61962	-1.15139	-21.9698	200	-1.93846e-001
61955	1.15139	-21.9698	200	-1.93845e-001
6858	-2.29963	21.8795	200	-1.93828e-001
6860	2.29963	21.8795	200	-1.93827e-001
17	2.29963	-21.8795	200	-1.93819e-001

Buttons: Close, Save, Help

Figura 6.18 – Valor máximo do deslocamento em Y – Flecha máxima.

Na Tabela 6.6 apresentam-se os resultados da análise em termos de tensões e deslocamentos, assim como o número de elementos utilizados por cada malha, a sua largura e tolerância e o tempo necessário para a sua criação.

Na Tabela 6.7 apresentam-se os erros resultantes dos testes com os vários tipos de malha.

Tabela 6.6 - Resultados da análise com elementos sólidos – Ensaio flexão.

Malha	Normal	Intermédia	Fina	Valores Teóricos
Número de elementos	7060	14838	31473	-
Largura do elemento (mm)	5,07416	3,44318	2,41626	-
Tolerância (mm)	0,25371	0,17216	0,12081	-
Tempo para criação da malha (segundos)	11	13	37	-
Tensão máxima (MPa)	59,14E+6	59,1E+6	63,3E+6	62,670E+6
Deslocamento máximo (flecha), (mm)	0,193639	0,193666	0,193866	0,1741

Tabela 6.7 – Comparação de erros com elementos sólidos – Ensaio flexão.

Malha	Normal	Intermédia	Fina
Erro associado à tensão (%)	5,6	5,6	1,0
Erro associado ao deslocamento (%)	11,2	11,2	11,4

Analisando a Tabela 6.6 e a Tabela 6.7 verifica-se que apenas houve melhoria dos resultados ao refinar a malha no cálculo da tensão. No cálculo do deslocamento, este refinamento não parece aproximar o valor obtido numericamente do valor teórico.

6.2.2.2. Elementos de Casca

Na Figura 6.19 apresenta-se o diagrama de tensões para o caso da malha fina com elementos de casca e na Figura 6.20 o diagrama de deslocamentos.

Como se vê na Figura 6.19, também neste caso ocorreu uma concentração de tensões, logo, o método adoptado para calcular a tensão foi o mesmo que utilizado no caso de elementos sólidos.

O cálculo do deslocamento máximo também seguiu o mesmo método utilizado no caso de elementos sólidos.

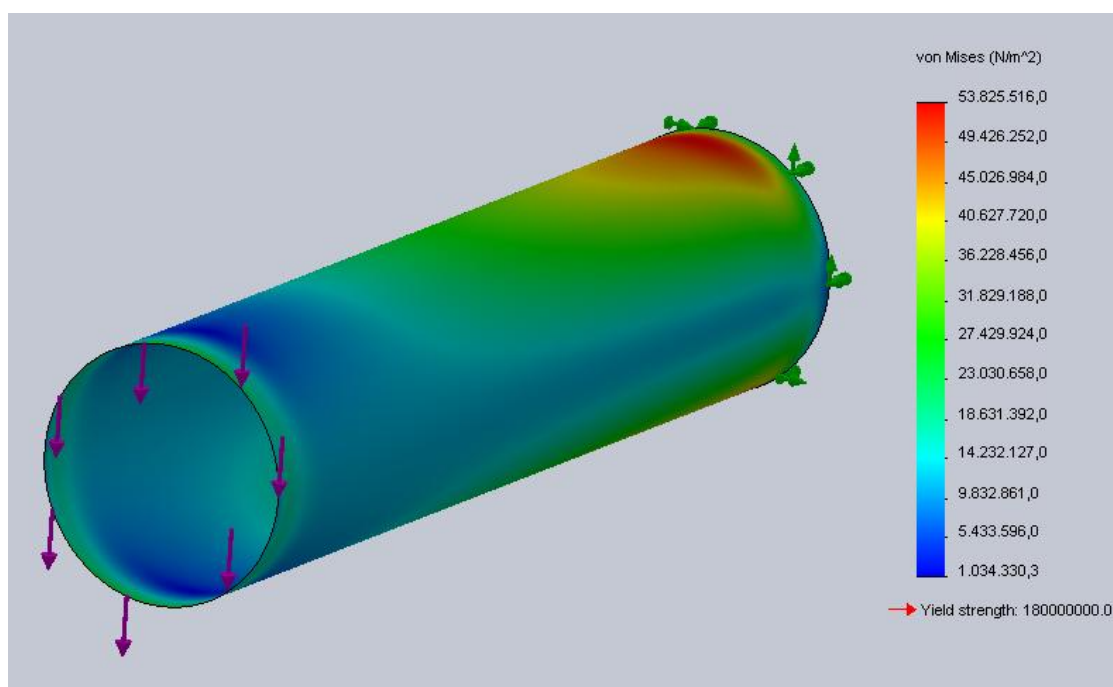


Figura 6.19 – Diagrama de tensões com elementos de casca – Ensaio flexão.

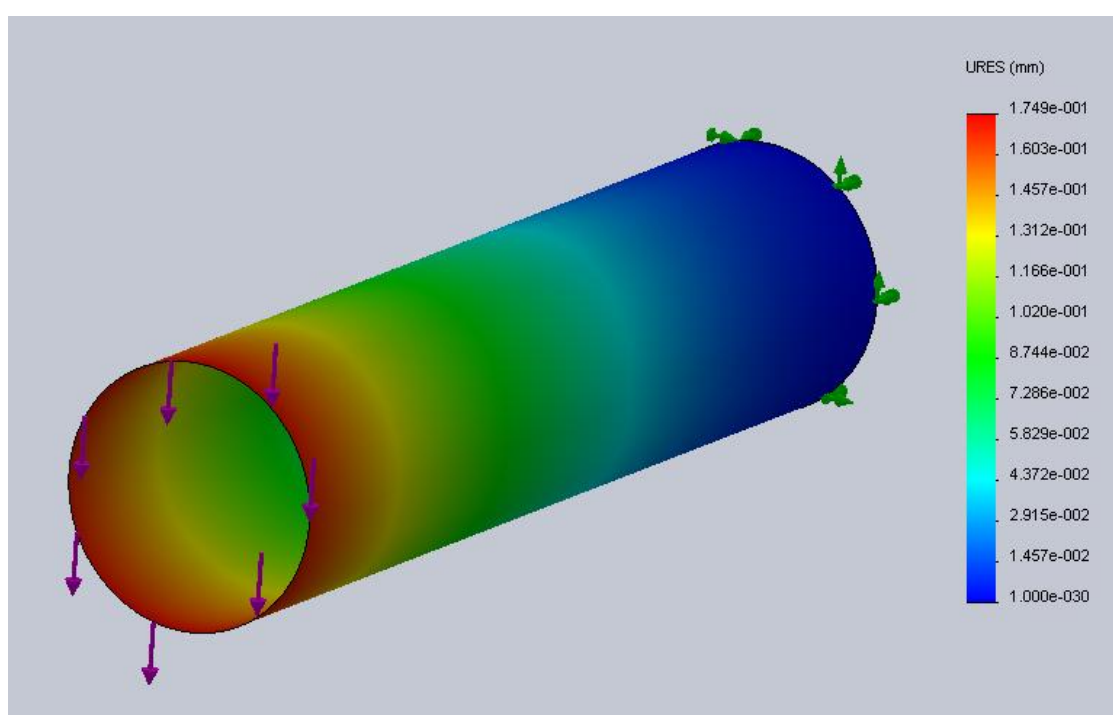


Figura 6.20 – Diagrama deslocamentos com elementos de casca – Ensaio flexão.

Na Tabela 6.8 apresentam-se os resultados da análise em termos de tensões e deslocamentos, assim como o número de elementos utilizados por cada malha, a sua largura e tolerância e o tempo necessário para a sua criação.

Na Tabela 6.9 apresentam-se os erros resultantes dos testes com os vários tipos de malha.

Tabela 6.8 - Resultados da análise com elementos de casca – Ensaio flexão.

Malha	Normal	Intermédia	Fina	Valores Teóricos
Número de elementos	2286	4734	10338	-
Largura do elemento (<i>mm</i>)	5,19497	3,56399	2,41626	-
Tolerância (<i>mm</i>)	0,25975	0,17820	0,12081	-
Tempo para criação da malha (segundos)	2	7	25	-
Tensão máxima (<i>MPa</i>)	27,22E+6	27,68E+6	29,04E+6	62,670E+6
Deslocamento máximo (flecha), (<i>mm</i>)	0,1726	0,1727	0,1727	0,1741

Tabela 6.9 - Comparação de erros com elementos de casca – Ensaio flexão.

Malha	Normal	Intermédia	Fina
Erro associado à tensão (%)	56,57	55,84	53,66
Erro associado ao deslocamento (%)	0,9	0,8	0,8

Relativamente ao cálculo da tensão de flexão conclui-se que os elementos sólidos são muito mais eficazes pois apresentaram erros muito inferiores (1% para o caso da malha fina e elementos sólidos contra 53,66% para a mesma malha e elementos de casca).

No entanto, no cálculo do deslocamento máximo acontece exactamente o oposto. Ou seja, os deslocamentos calculados com elementos sólidos apresentam erros muito superiores aos deslocamentos calculados com elementos de casca (11,4% para o caso da malha fina e elementos sólidos contra 0,8% para a mesma malha e elementos de casca).

6.3. Teste da União de Tubos

Após os testes de validação do programa, revelou-se importante analisar a união entre os tubos. Para tal foi escolhido o elemento em forma de “L” como representado na Figura 6.21.

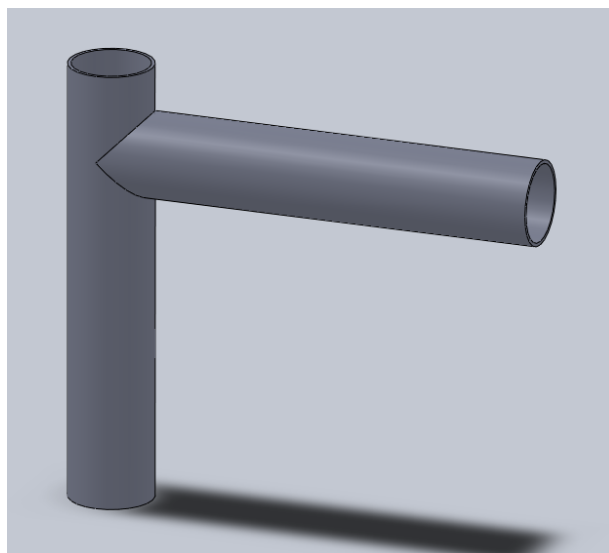


Figura 6.21 – Elemento “L”, objecto de estudo.

O material escolhido para o estudo foi um aço AISI 1020, que se encontra na biblioteca de materiais do SolidWorks. Para a realização deste teste considerou-se a base da estrutura encastrada e na face mais distante da base aplicou-se uma força de 3000 N como representado na Figura 6.22.

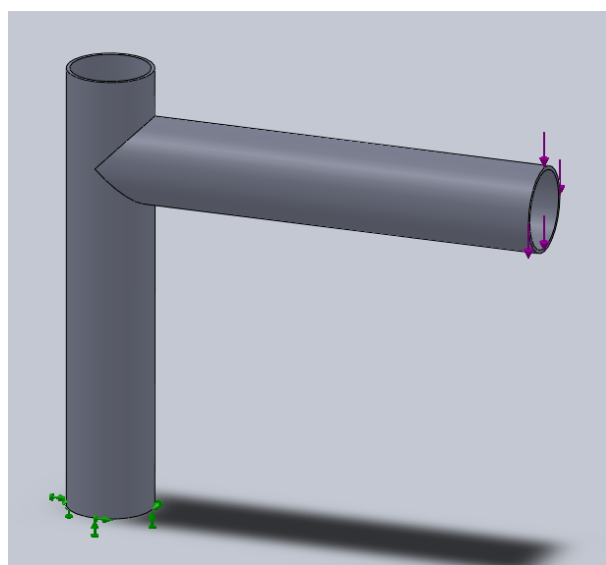


Figura 6.22 – Condições de fronteira – Teste “L”.

Foram realizados testes com elementos sólidos e com elementos de casca. Para cada um dos testes utilizaram-se 4 níveis de malha (normal, intermédia, fina e muito fina) e ainda com e sem transição automática.

6.3.1. Elementos Sólidos

Na Figura 6.23, Figura 6.24, Figura 6.25 e Figura 6.26 estão representadas as malhas normal, intermédia, fina e muito fina respectivamente.

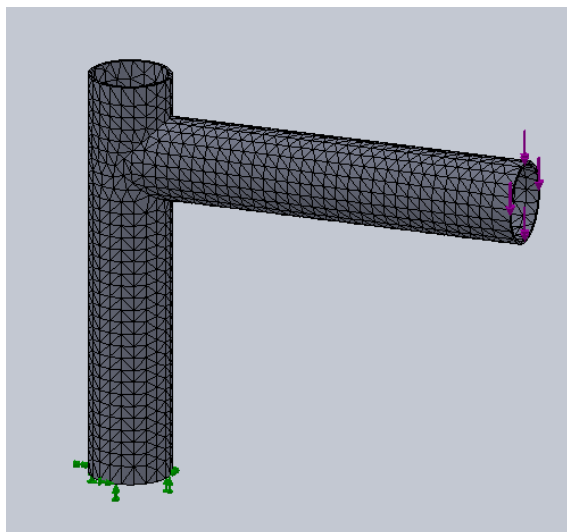


Figura 6.23 – Malha normal.

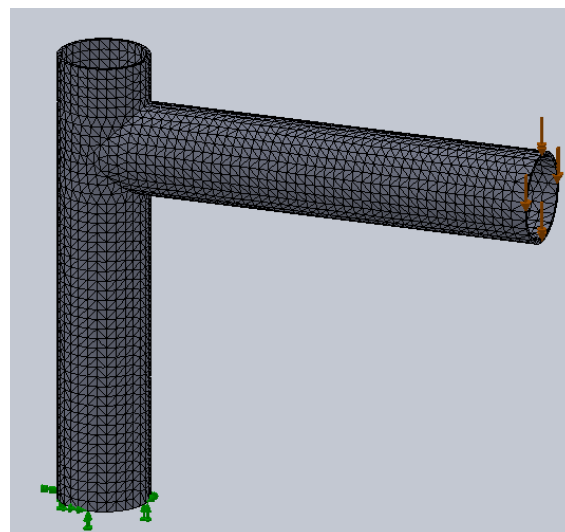


Figura 6.24 – Malha intermédia.

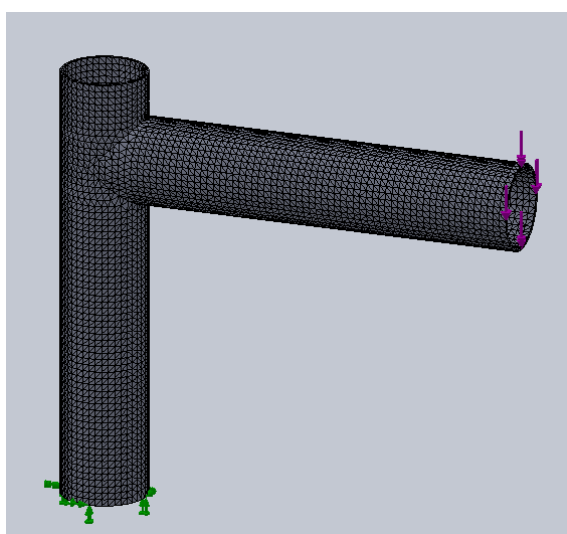


Figura 6.25 – Malha fina.

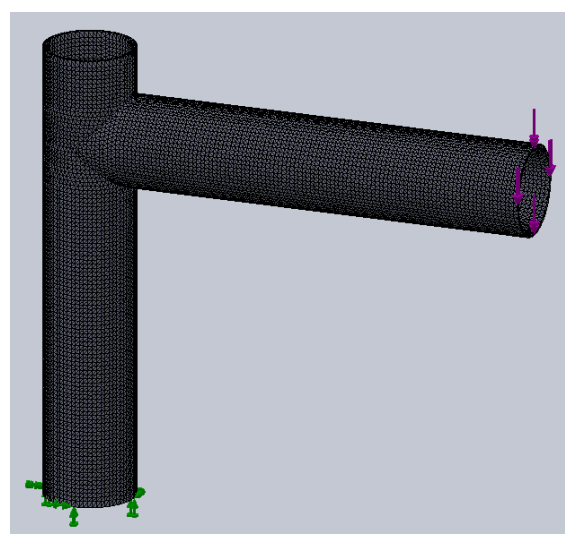


Figura 6.26 – Malha muito fina.

Na Figura 6.27 apresenta-se o diagrama de tensões para o caso de malha fina com elementos sólidos e na Figura 6.28 o diagrama de deslocamentos.

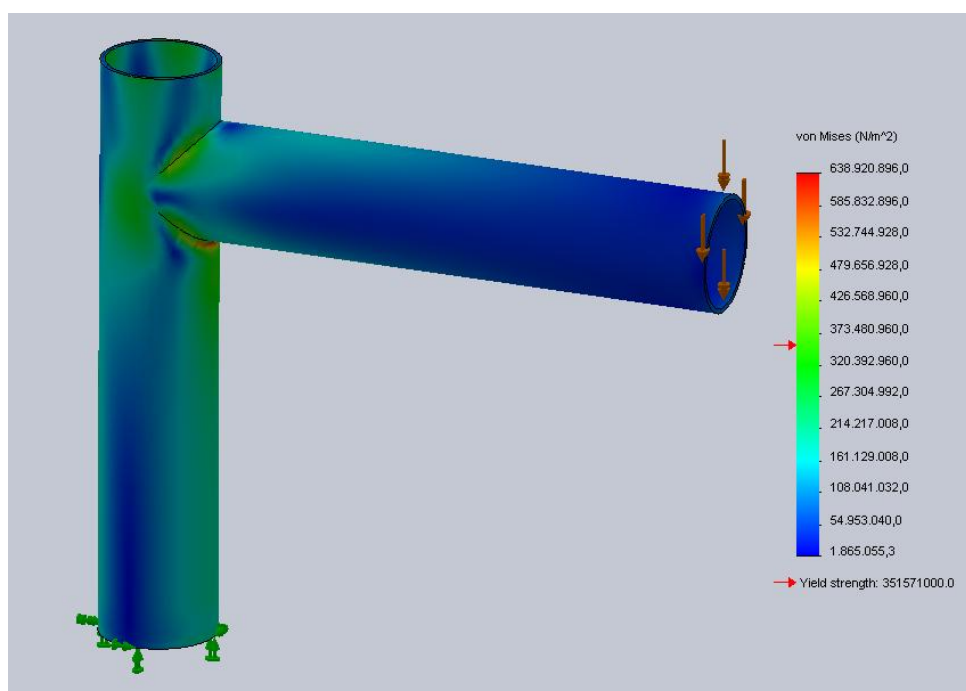


Figura 6.27 – Diagrama de tensões com elementos sólidos – Teste “L”.

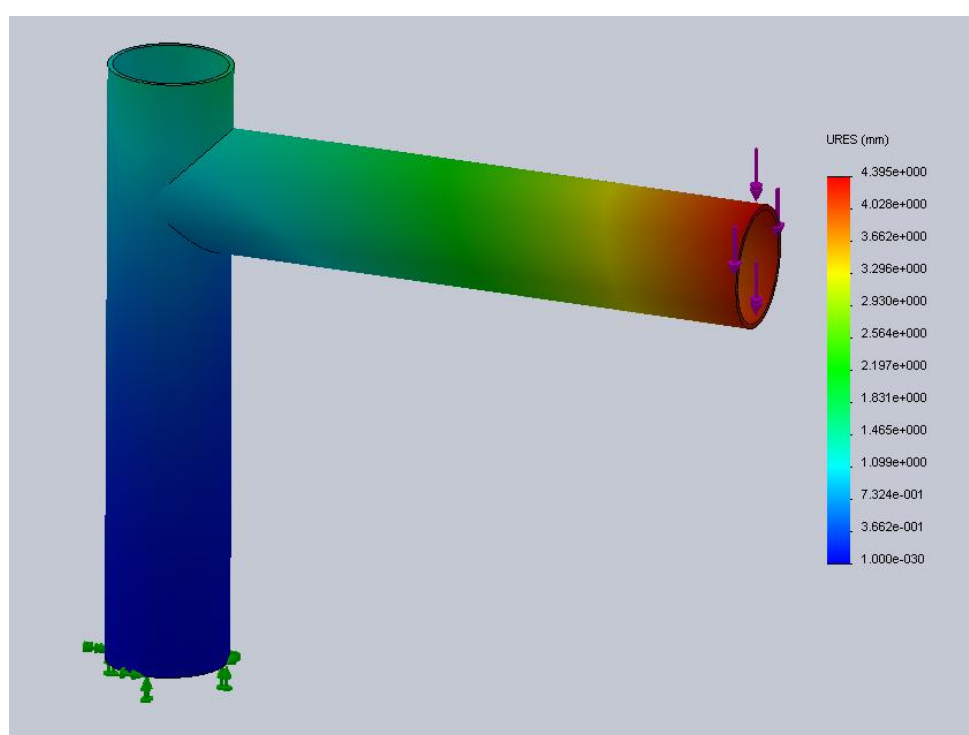


Figura 6.28 – Diagrama de deslocamentos com elementos sólidos – Teste “L”.

Na Tabela 6.10 apresentam-se os resultados da tensão máxima, tensão numa secção a 100 mm da base, tensão média (tensão média de toda a peça) e deslocamento máximo. Para além disso apresenta-se o número de elementos utilizados por cada malha, a sua largura e tolerância e o tempo necessário para a sua criação. Todos estes valores correspondem a malhas sem transição automática. Assim, na Tabela 6.11 apresentam-se os mesmos valores mas para malhas com transição automática.

Tabela 6.10 – Resultados da análise sem transição automática – Elementos sólidos.

Malha	Normal	Intermédia	Fina	Muito fina
Nº de elementos	7581	15570	31870	92005
Largura dos elementos (<i>mm</i>)	7,64245	5,44524	3,82122	2,29273
Tolerância dos elementos (<i>mm</i>)	0,38212	0,27226	0,19106	0,11464
Tempo de execução da malha (<i>seg</i>)	3	5	18	214
Tensão máxima (<i>MPa</i>)	484,0	568,9	633,3	709,5
Tensão a 100 mm da base (<i>MPa</i>)	151,7	156,9	157,8	158,3
Tensão média (<i>MPa</i>)	116,0	118,8	119,1	119,1
Deslocamento máximo (<i>mm</i>)	4,27	4,364	4,395	4,408

Tabela 6.11 – Resultados da análise com transição automática – Elementos sólidos.

Malha	Normal	Intermédia	Fina	Muito fina
Nº de elementos	8786	15799	32043	86030
Largura dos elementos (<i>mm</i>)	7,64245	5,44524	3,82122	2,29273
Tolerância dos elementos (<i>mm</i>)	0,38212	0,27226	0,19106	0,11464
Tempo de execução da malha (<i>seg</i>)	2	5	14	211
Tensão máxima (<i>MPa</i>)	521,6	584,9	619,3	687,9
Tensão a 100 mm da base (<i>MPa</i>)	153,3	156,7	158,1	158,3
Tensão média (<i>MPa</i>)	116,6	118,2	119,1	119,2
Deslocamento máximo (<i>mm</i>)	4,301	4,364	4,397	4,408

Para analisar melhor os resultados e de forma a comparar os valores obtidos com e sem transição automática estes foram representados em gráficos. Assim, na Figura 6.29 apresenta-se a variação da tensão máxima com o tamanho de malha, na Figura 6.30 a variação da tensão numa secção a 100 mm da base, na Figura 6.31 a variação da tensão média de toda a peça e na Figura 6.32 a variação do deslocamento máximo.

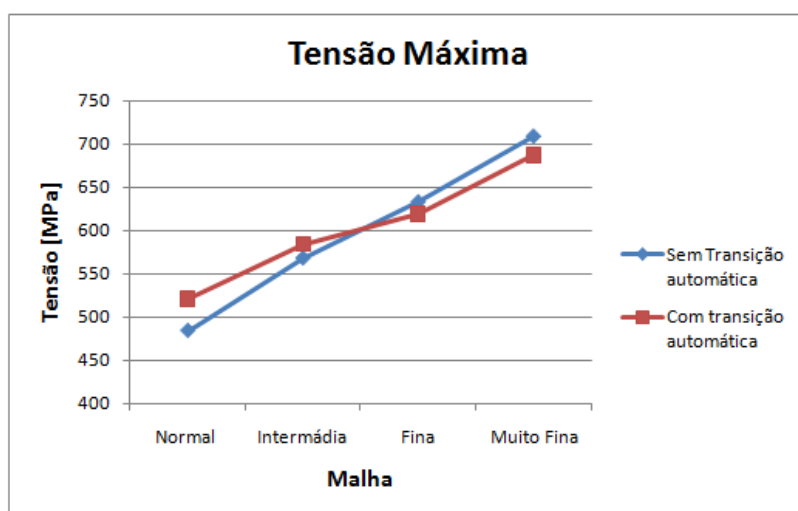


Figura 6.29 – Gráfico da variação da tensão máxima com o tamanho da malha.

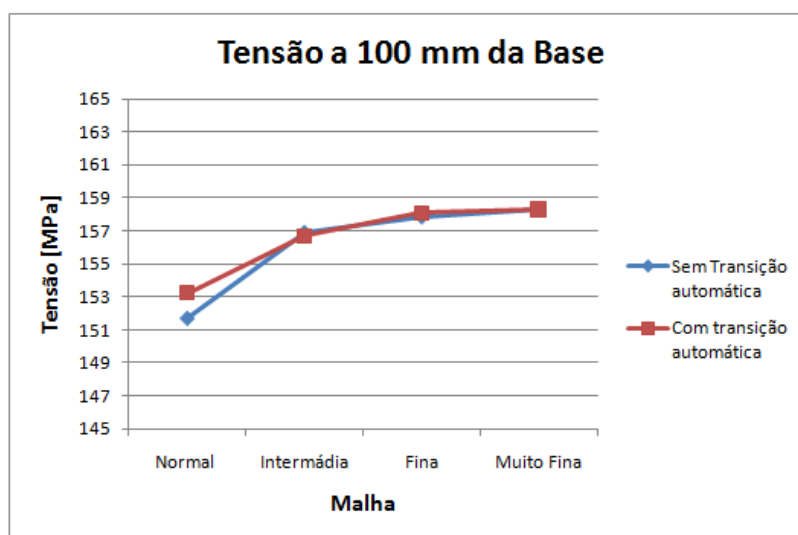


Figura 6.30 – Gráfico da variação da tensão numa secção a 100 mm da base com o tamanho da malha.

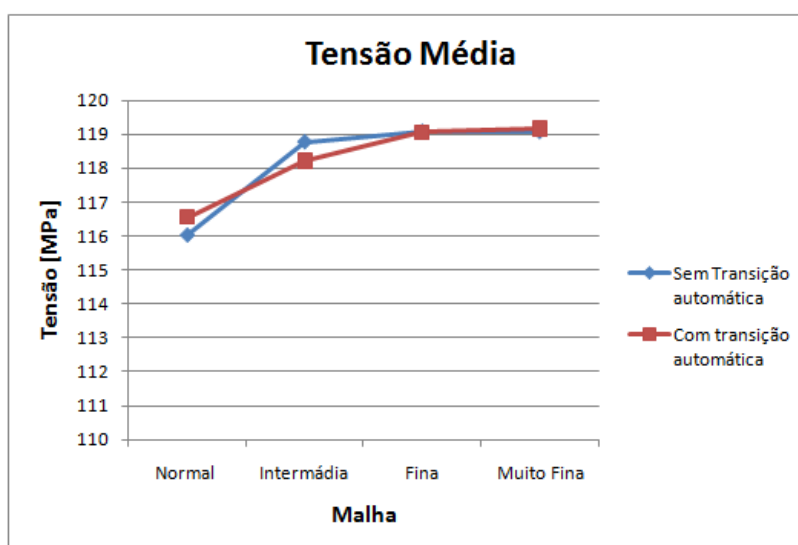


Figura 6.31 - Gráfico da variação da tensão média de toda a peça com o tamanho da malha.

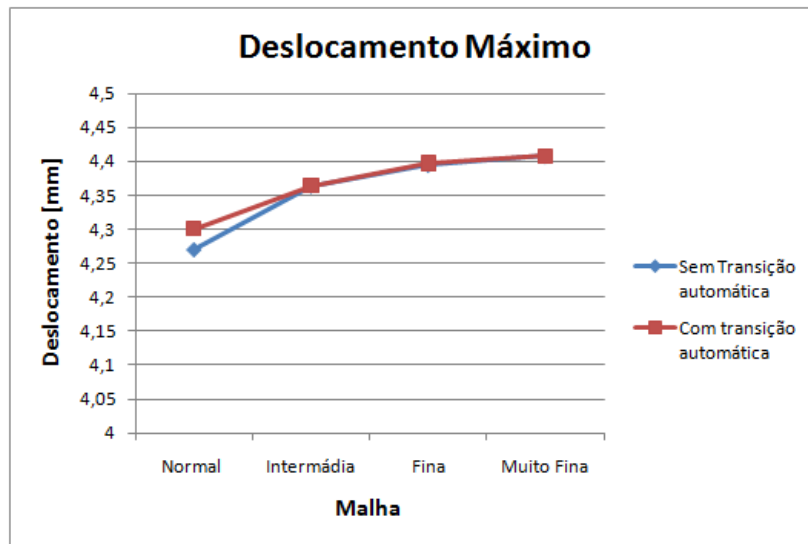


Figura 6.32 – Gráfico da variação do deslocamento máximo com o tamanho da malha.

Analisando a Figura 6.29 verifica-se que a tensão máxima aumenta com o aumento do tamanho da malha (ou diminuição do tamanho dos elementos), não havendo convergência para um valor. Uma vez que a tensão máxima se dá na zona onde ocorreu uma concentração de tensões, fica provado que o valor desta tensão não pode ser considerado.

No que toca ao valor da tensão a 100 mm da base, ao valor da tensão média e ao valor do deslocamento máximo, estes mostram convergir para um valor. Por outro lado, o valor obtido para o caso de malha fina aparenta estar muito próximo do valor para o qual o gráfico converge. Desta forma, e visto o tempo de criação da malha muito fina ser significativamente superior ao tempo de criação da malha fina conclui-se que a que apresenta o melhor compromisso tempo/resultados é a malha fina.

Falta apenas referir que a utilização de transição automática da malha não apresentou vantagens aparentes.

6.3.2. Elementos de Casca

Na Figura 6.33 Figura 6.34 Figura 6.35 Figura 6.36 estão representadas as malhas normal, intermédia, fina e muito fina respectivamente.

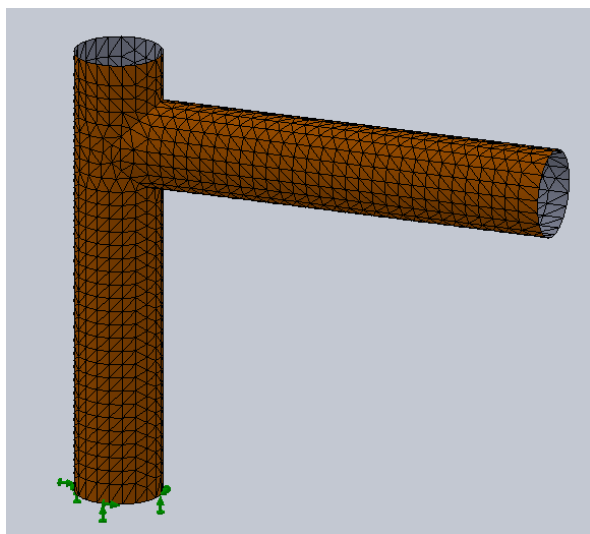


Figura 6.33 – Malha Normal.

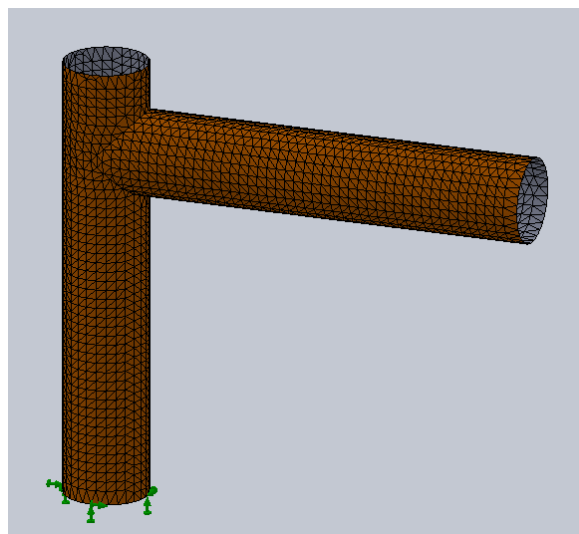


Figura 6.34 – Malha intermédia.

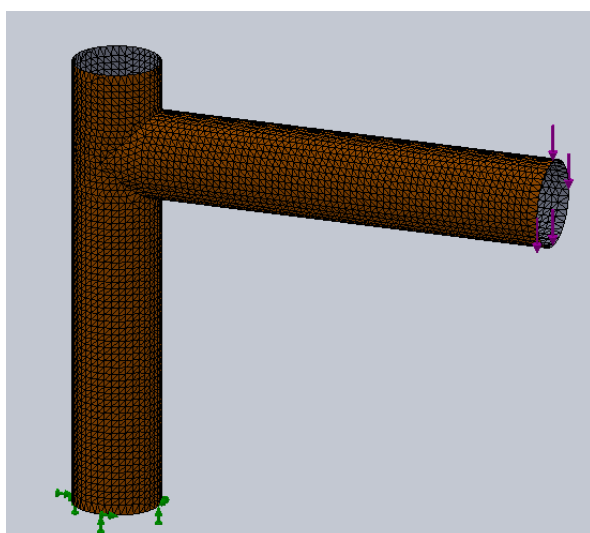


Figura 6.35 – Malha fina.

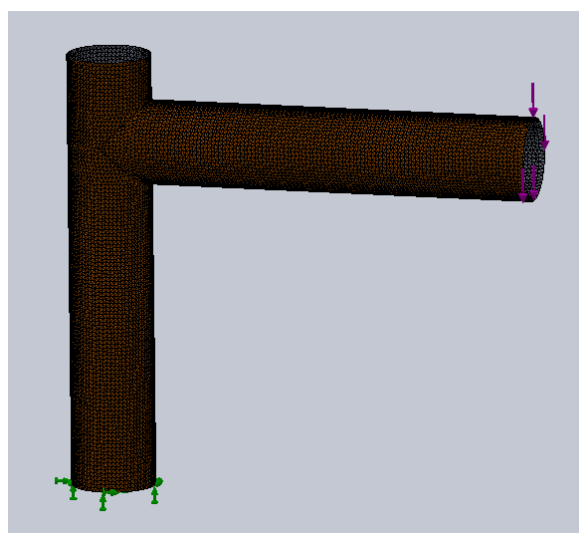


Figura 6.36 – Malha muito fina.

Na Figura 6.37 apresenta-se o diagrama de tensões para o caso de malha fina com elementos de casca e na Figura 6.38 o diagrama de deslocamentos.

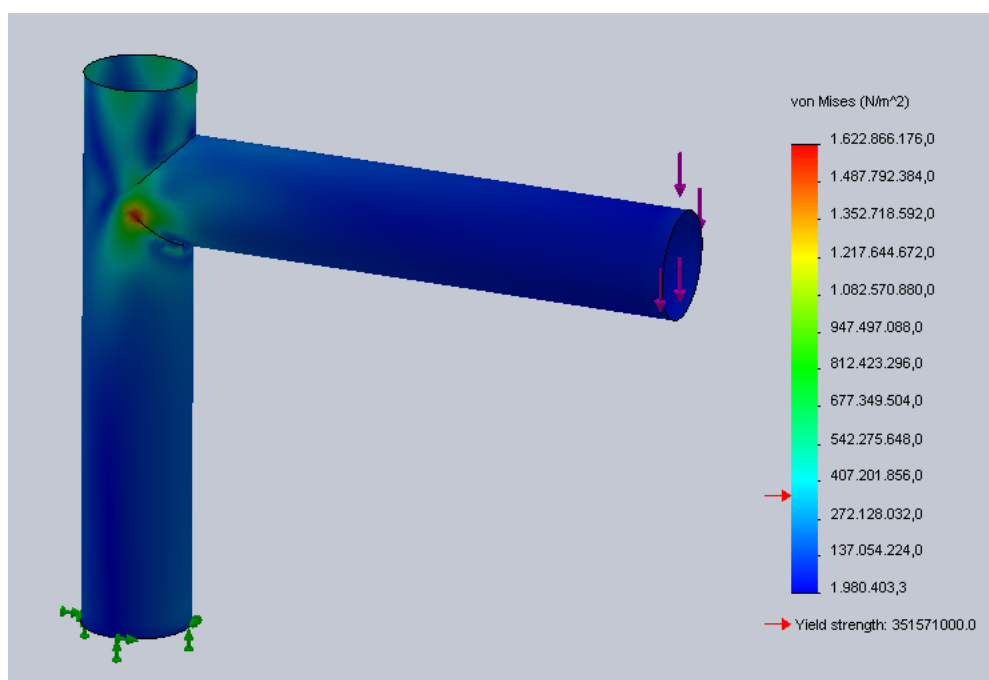


Figura 6.37 – Diagrama de tensões com elementos de casca – Teste “L”.

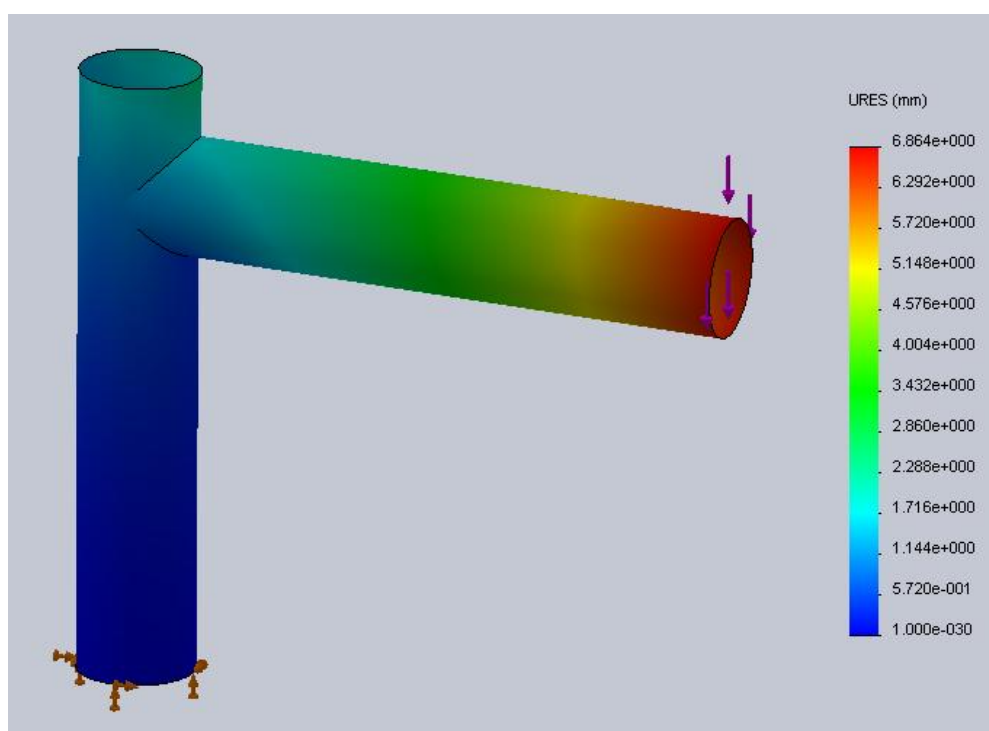


Figura 6.38 – Diagrama de deslocamentos com elementos de casca – Teste “L”.

Na Tabela 6.12 apresentam-se os resultados da tensão máxima, tensão média (tensão média de toda a peça) e deslocamento máximo. Para além disso apresenta-se o número de elementos utilizados por cada malha, a sua largura e tolerância e o tempo necessário para a sua criação. Todos estes valores correspondem a malhas sem transição automática. Assim, na Tabela 6.13 apresentam-se os mesmos valores mas para malhas com transição automática.

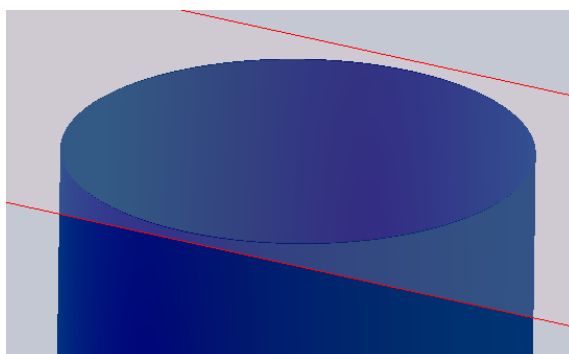
Tabela 6.12 – Resultados da análise sem transição automática – Elementos de casca.

Malha	Normal	Intermédia	Fina	Muito fina
Nº de elementos	2555	5232	9752	30120
Largura dos elementos (<i>mm</i>)	7,67108	5,40403	3,78282	2,16162
Tolerância dos elementos (<i>mm</i>)	0,383554	0,270201	0,189141	0,10808
Tempo de execução da malha (<i>seg</i>)	1	3	10	200
Tensão máxima (<i>MPa</i>)	1471	1582	1623	1645
Tensão média (<i>MPa</i>)	144,2	145,9	153,1	153,2
Deslocamento máximo (<i>mm</i>)	6,328	6,399	6,864	6,875

Tabela 6.13 – Resultados da análise com transição automática – Elementos de casca.

Malha	Normal	Intermédia	Fina	Muito fina
Nº de elementos	2689	5580	10980	32360
Largura dos elementos (<i>mm</i>)	7,67108	5,40403	3,78282	2,16162
Tolerância dos elementos (<i>mm</i>)	0,383554	0,270201	0,189141	0,10808
Tempo de execução da malha (<i>seg</i>)	2	4	13	198
Tensão máxima (<i>MPa</i>)	1567	1618	1618	1649
Tensão média (<i>MPa</i>)	150,9	151,8	152,7	152,7
Deslocamento máximo (<i>mm</i>)	6,772	6,842	6,867	6,875

Neste caso não foi possível calcular a tensão numa secção a 100 mm da base pois, tratando-se de uma malha de elementos de casca, estes são representados como uma camada sem espessura e, por isso, ao se seccionar o tubo, apenas aparece uma linha como representado na Figura 6.39.

**Figura 6.39 – Secção a 100 mm da base.**

Para analisar melhor os resultados e de forma a comparar os valores obtidos com e sem transição automática estes foram representados em gráficos. Assim, na Figura 6.40 apresenta-

se a variação da tensão máxima com o tamanho de malha, na Figura 6.41 a variação da tensão média de toda a peça e na Figura 6.42 a variação do deslocamento máximo.

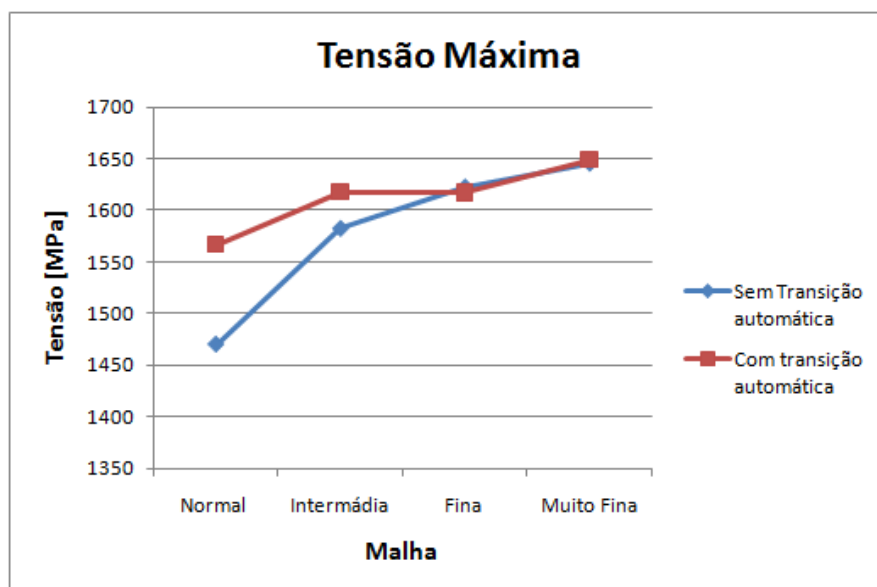


Figura 6.40 – Gráfico da variação da tensão máxima com o tamanho da malha.

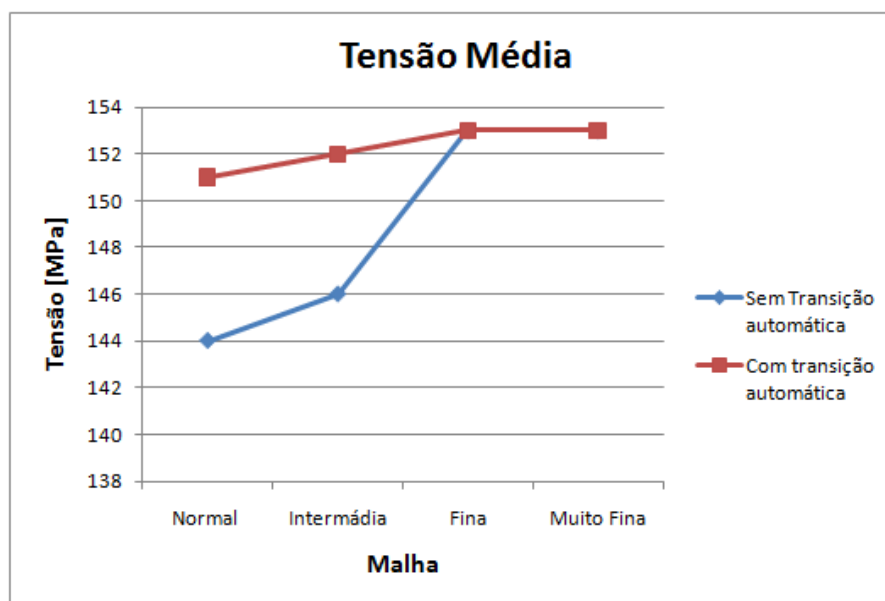


Figura 6.41 – Gráfico da variação da tensão média de toda a peça com o tamanho da malha.

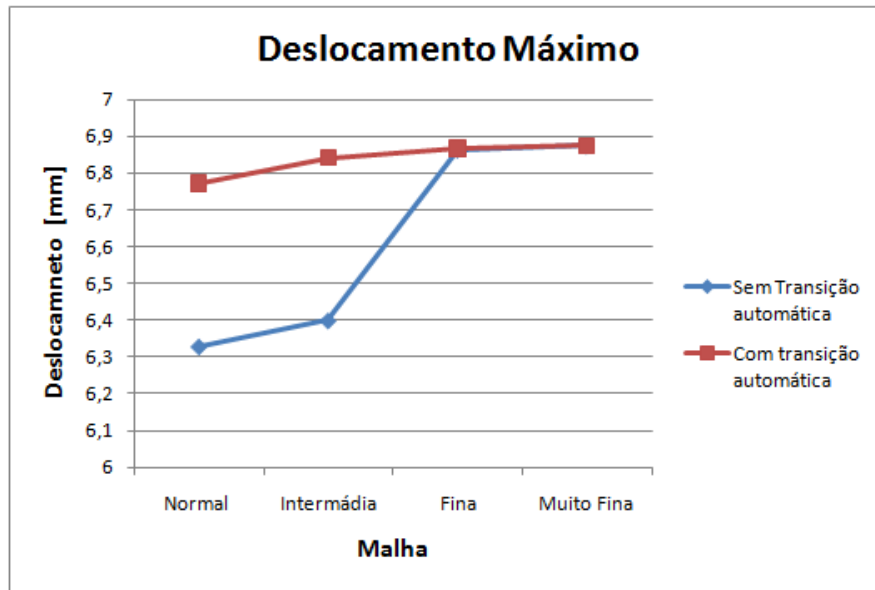


Figura 6.42 – Gráfico da variação do deslocamento máximo com o tamanho da malha.

À semelhança do que aconteceu com os ensaios de tracção e flexão, também nestes testes os resultados obtidos com elementos de casca foram diferentes dos resultados obtidos com elementos sólidos.

Analisando a Figura 6.37 verifica-se que ocorreu uma concentração de tensões junto da união dos tubos, à semelhança do que aconteceu no caso com elementos sólidos. Assim, as considerações feitas para a tensão máxima no caso de elementos sólidos também se aplicam neste caso.

No que toca ao valor da tensão média e ao valor do deslocamento máximo, estes mostram convergir para um valor, mais uma vês à semelhança do que aconteceu no caso de elementos sólidos. Por outro lado, o valor obtido para o caso de malha fina aparenta estar muito próximo do valor para o qual o gráfico converge. Desta forma, e visto o tempo de criação da malha muito fina ser significativamente superior ao tempo de criação da malha fina conclui-se que a que apresenta o melhor compromisso tempo/resultados é a malha fina.

A diferença fundamental encontrada do teste com elementos de casca para o teste de elementos sólidos recai no uso da transição automática da malha. Assim, analisando a Figura 6.41 e Figura 6.42 verifica-se que o uso de transição automática da malha se revela muito vantajoso para malhas normais ou intermédias e indiferente para malhas finas ou muito finas.

7. Análise da estrutura

A análise da estrutura foi realizada segundo as especificações presentes no anexo J, que se encontram no ponto 2.7 do presente relatório. Assim, foram realizados dois testes:

- Ensaio sobre o arco principal e,
- Ensaio sobre o arco lateral

Assim, em primeiro lugar foi necessário introduzir o material na biblioteca do SolidWorks. As propriedades mecânicas introduzidas foram as propriedades obtidas no ensaio de tracção à excepção do módulo de elasticidade que se considerou um valor comum nos aços. Na Figura 7.1 encontra-se representada a janela que permite a introdução das características do material na biblioteca do SolidWorks e na Tabela 7.1 as propriedades mecânicas do aço utilizado.

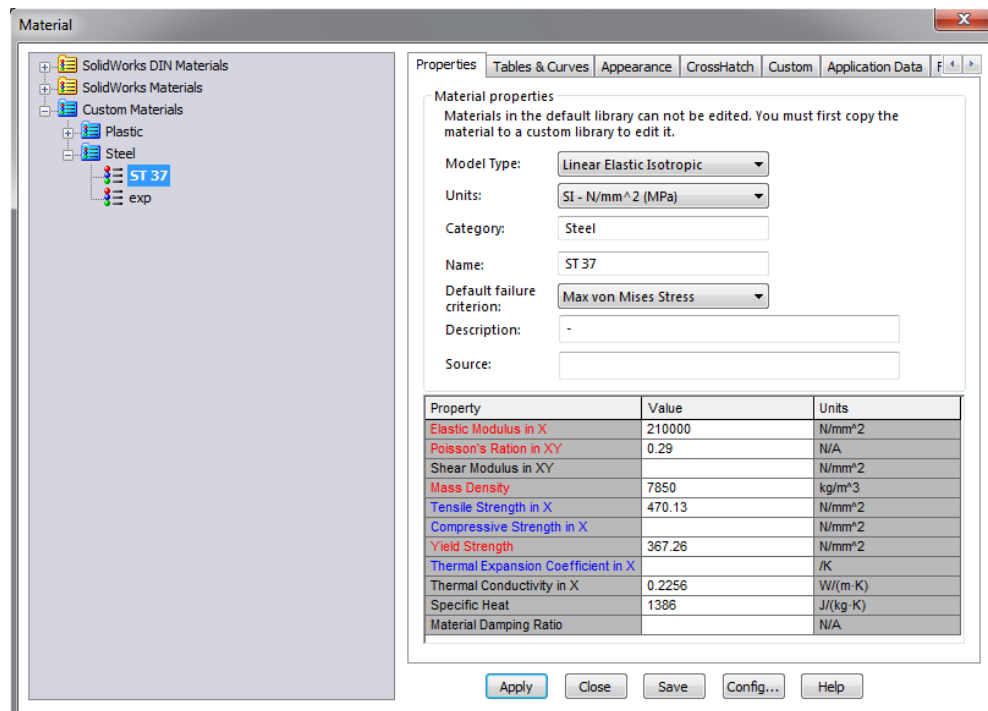


Figura 7.1 – Introdução do material no SolidWorks.

Tabela 7.1 – Propriedades mecânicas – Aço ST 37

Propriedade Mecânica	Média
Módulo de elasticidade [<i>GPa</i>]	210
Tensão limite elasticidade [<i>MPa</i>]	367,26
Tensão de rotura [<i>MPa</i>]	470,13

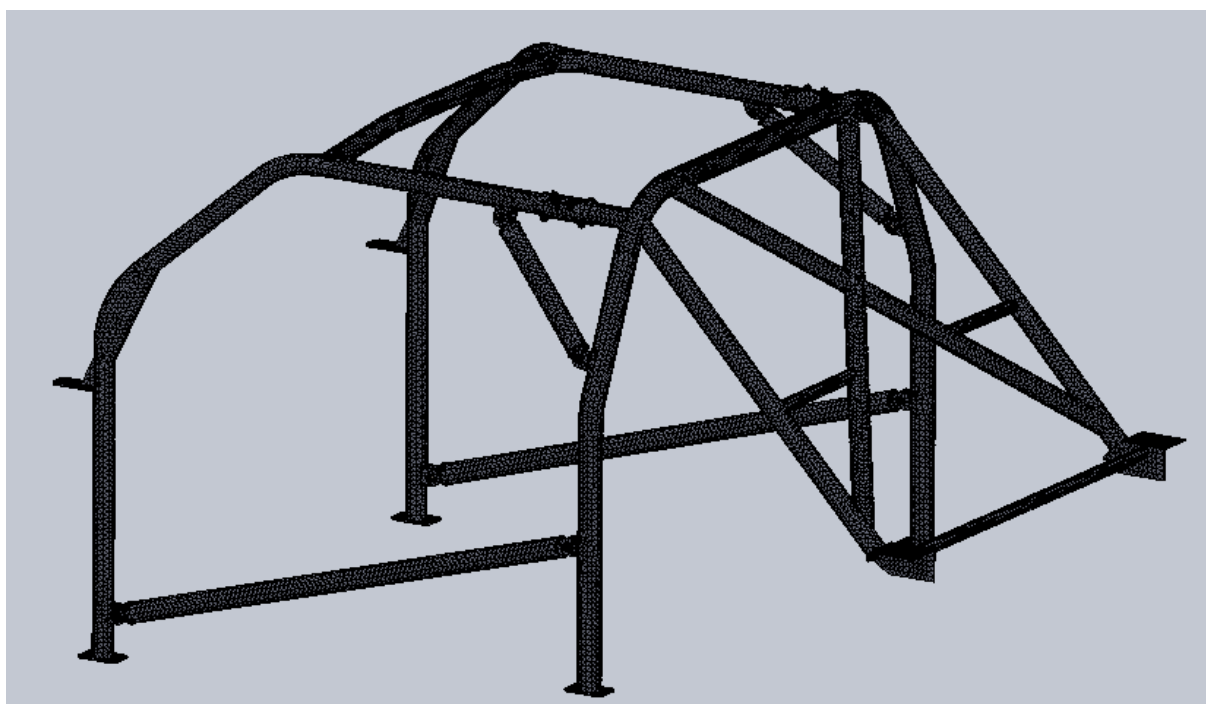
O passo seguinte foi a realização da malha de elementos finitos. Foi considerada uma malha de elementos sólidos parabólicos de 10 nós, no entanto, a realização desta malha revelou alguma dificuldade pois, foi necessário encontrar uma combinação dos parâmetros que permitissem a discretização de todas as peças. Esta dificuldade deve-se ao facto de haver uma grande variedade de formas e tamanhos das peças.

Os parâmetros de malha que permitiram a discretização total da estrutura encontram-se na Tabela 7.2 e a representação dessa discretização encontra-se na Figura 7.2. Para melhor visualização dos elementos a Figura 7.3 apresenta um pormenor da malha.

Tabela 7.2 – Parâmetros da malha.

Parâmetros da Malha	Valor
Largura do elemento [<i>mm</i>]	10,7906
Tolerância [<i>mm</i>]	0,485579

Para a estrutura em questão, esta é uma malha fina. Assim, como visto nos ensaios anteriormente realizados, os valores dos erros serão menores.

**Figura 7.2 – Discretização do arco de segurança em elementos finitos.**

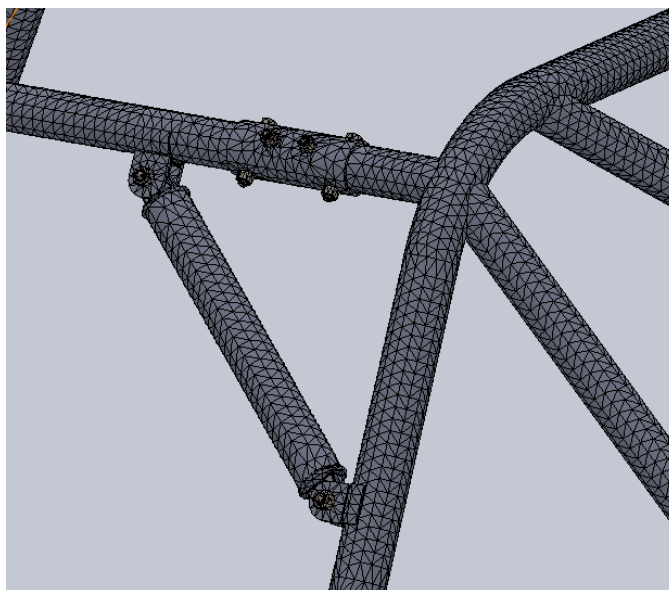


Figura 7.3 – Pormenor da malha de elementos finitos.

7.1. Ensaio sobre o Arco Principal

Embora se tenha seguido as especificações presentes no anexo J, não foi possível aplicar a força com a estrutura rígida auxiliar pois o tempo de cálculo aumenta significativamente e os computadores comuns não apresentam memória suficiente para tal cálculo. Assim, o valor da carga, a sua aplicação (direcção e sentido) e local de aplicação foram mantidos de forma a tornar o ensaio mais próximo possível das normas. A Figura 7.4 demonstra as condições de fronteira aplicadas no arco de segurança.

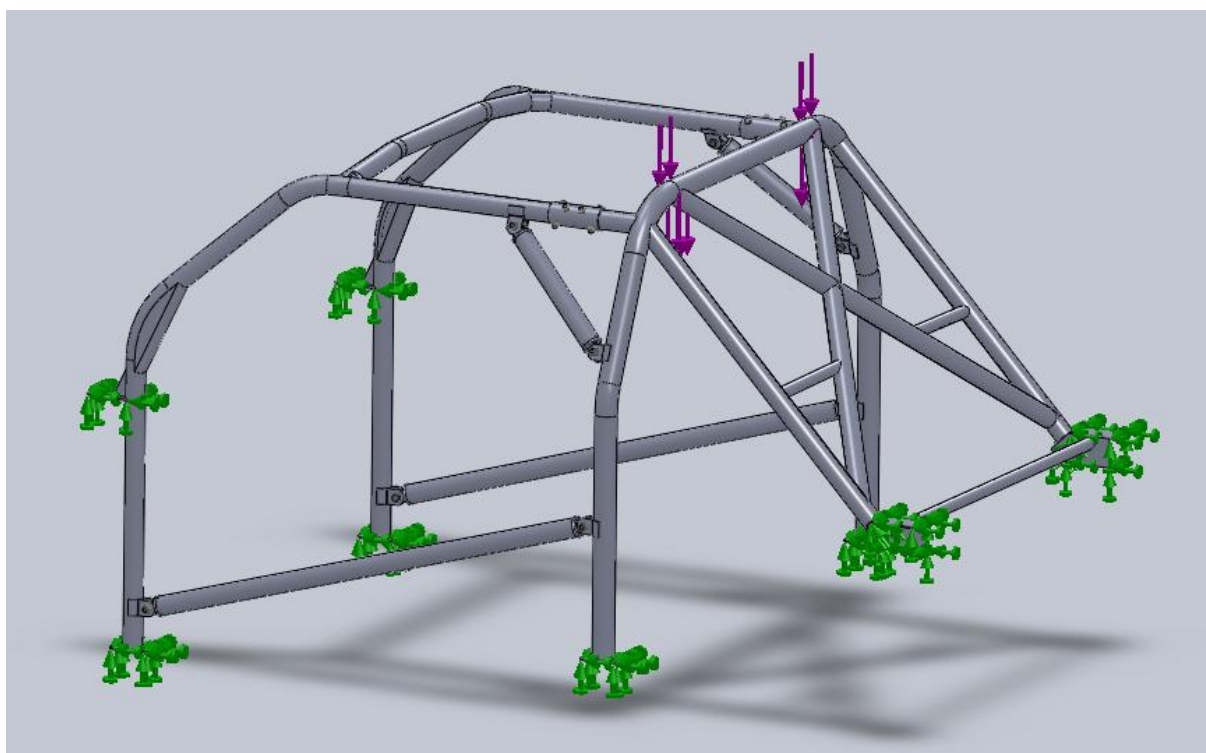


Figura 7.4 – Arco de segurança com condições de fronteira.

A carga aplicada é distribuída ao longo da parte superior do arco principal e apresenta o seguinte valor:

$$P = 7,5 \times (700 + 150) \times 9,8 = 62475 \text{ N}$$

Como se vê na Figura 7.4 foram colocados apoios encastrados nas 8 fixações de ligação ao exterior que o arco apresenta.

7.1.1. Resultados – Tensão

A Figura 7.5 apresenta o diagrama de tensões resultante do cálculo numérico do SolidWorks.

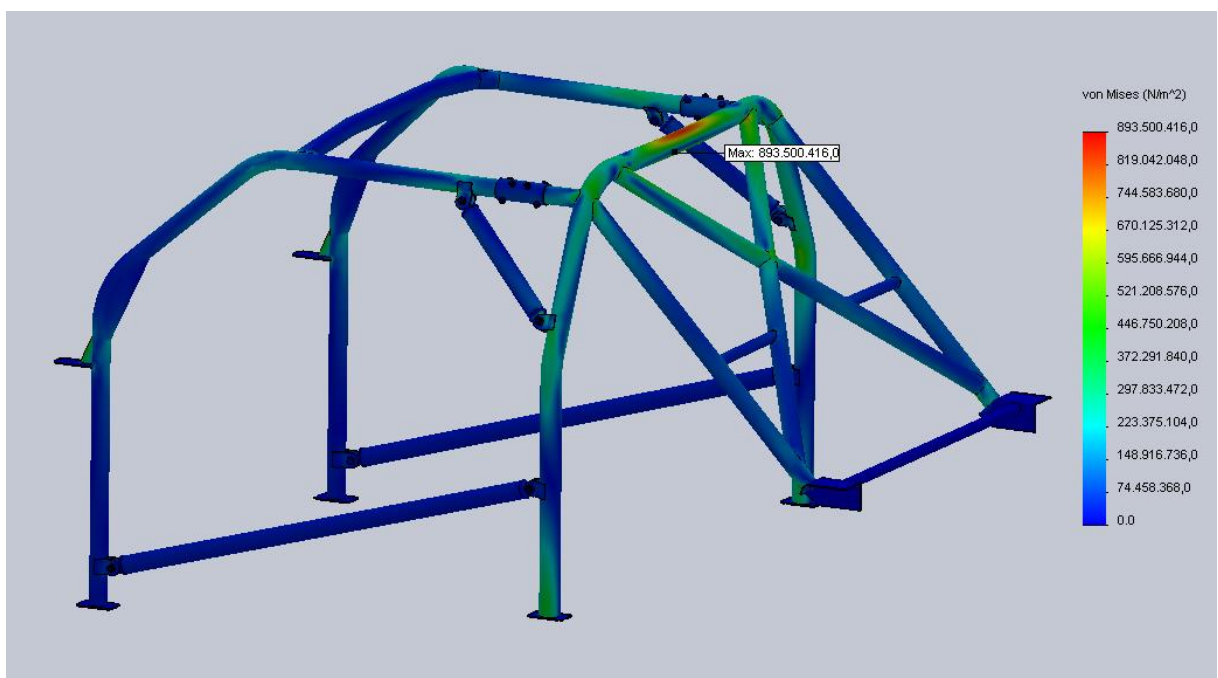


Figura 7.5 – Diagrama de tensões – Ensaio arco principal.

Como se vê na Figura 7.5 a tensão máxima de Von Mises resultante do ensaio sobre o arco principal é aproximadamente 893 MPa. Uma vez que esta tensão é superior à tensão limite de elasticidade (367 MPa) a estrutura entra no regime plástico. Apesar desta tensão também ser superior à tensão de rotura (470 MPa), não é possível concluir se a estrutura entra em rotura ou não pois sendo esta uma análise linear-elástica não prevê a modificação do campo de tensões e por isso não permite analisar a estrutura no regime plástico.

Posto isto, caso se pretenda manter a geometria e dimensões dos tubos, será necessário aplicar um material que apresente uma tensão limite de elasticidade no mínimo de 893 MPa para não entrar no regime plástico.

De forma a estudar a estrutura mostrando as zonas mais solicitadas a este ensaio, procedeu-se à alteração do valor limite da tensão da escala do diagrama de tensões para o valor do limite de elasticidade do material. Assim, a escala da Figura 7.6 vai de 0 a 367,26 MPa e, caso

algum local da estrutura esteja a um valor igual ou superior ao valor máximo da escala, esse local ficará com a cor correspondente ao valor máximo.

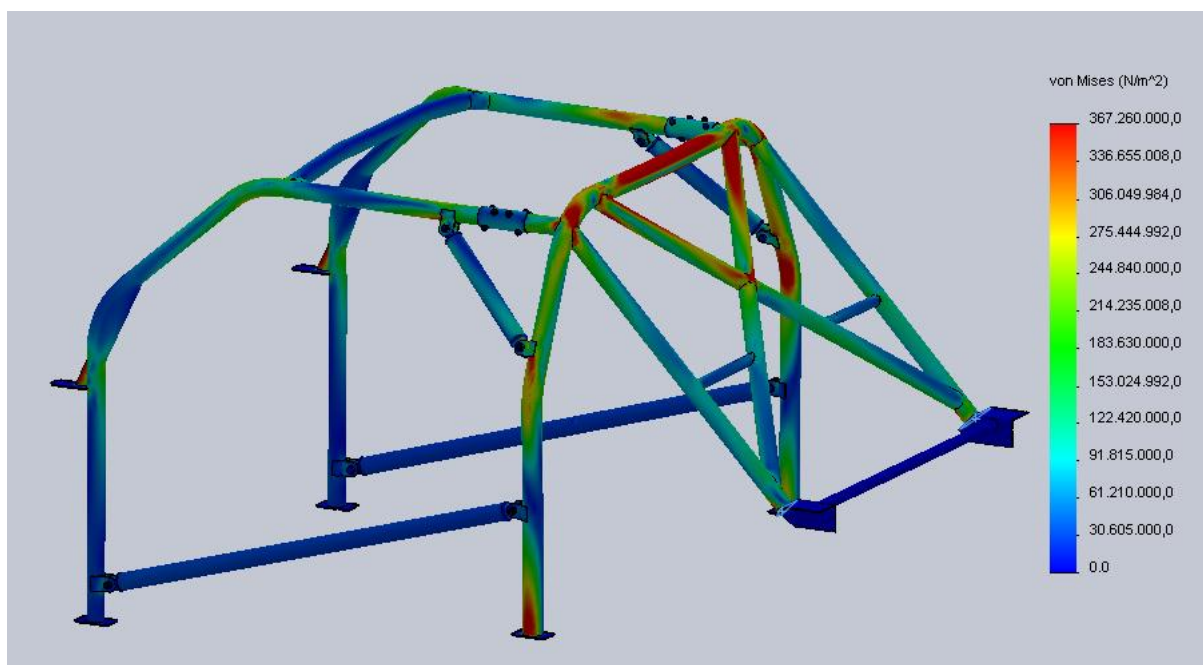


Figura 7.6 - Diagrama de tensões – Ensaio arco principal.

Da análise da Figura 7.6 conclui-se que existem várias zonas do arco que estão sujeitas a uma tensão igual ou superior à tensão limite de elasticidade. Estas zonas são:

- Zona superior do arco principal (Figura 7.7);
- Apoios de fixação do arco principal (Figura 7.8);
- Apoios de fixação médios do arco lateral (Figura 7.9);
- Apoios de fixação dos membros de prolongamento traseiro (Figura 7.10);
- Zona exterior da curva inferior do arco principal (Figura 7.11);
- Zona interior da curva inferior do arco principal (Figura 7.12);
- Curva superior do arco principal (Figura 7.13);
- União do “X” traseiro (Figura 7.14).

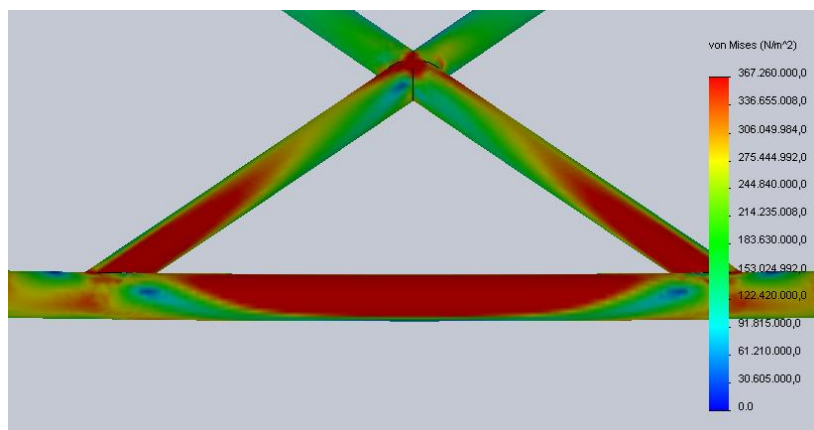


Figura 7.7 – Diagrama tensões – Zona superior do arco principal.

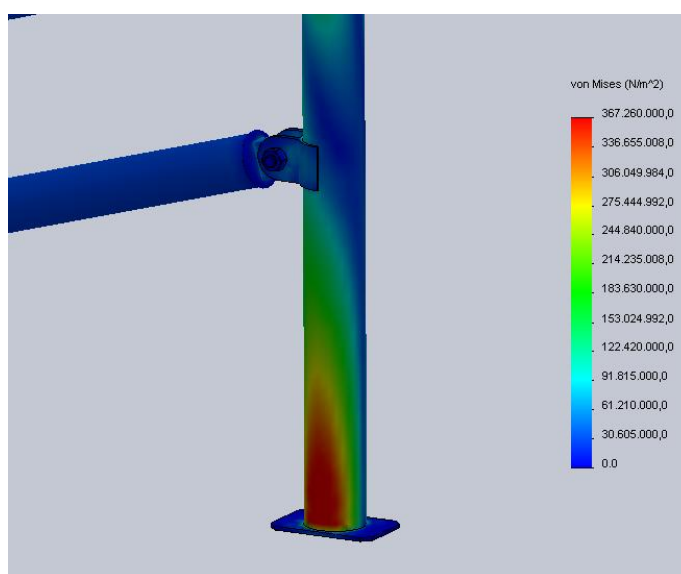


Figura 7.8 – Diagrama de tensões – Fixação do arco principal.

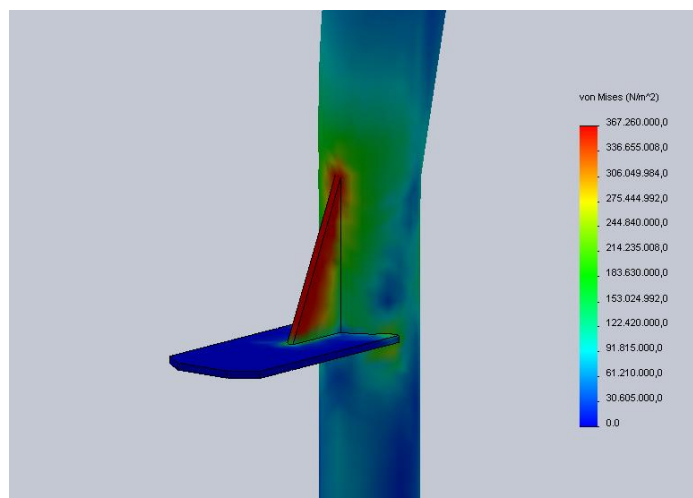


Figura 7.9 Diagrama de tensões - Fixação média do arco lateral.

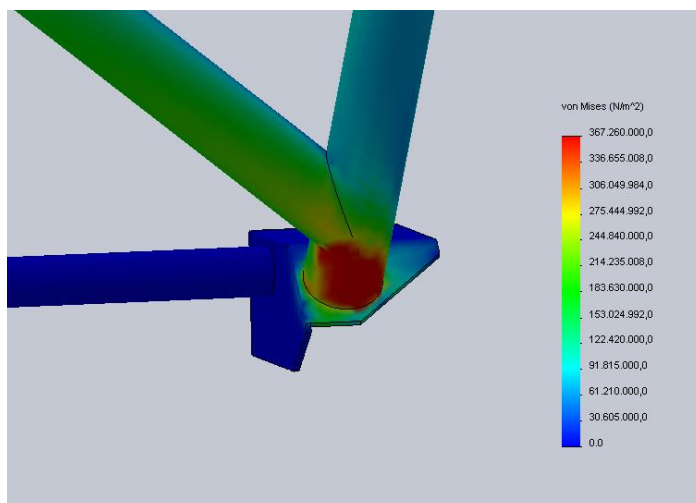


Figura 7.10 – Diagrama de tensões – Fixação dos membros de prolongamento traseiro.

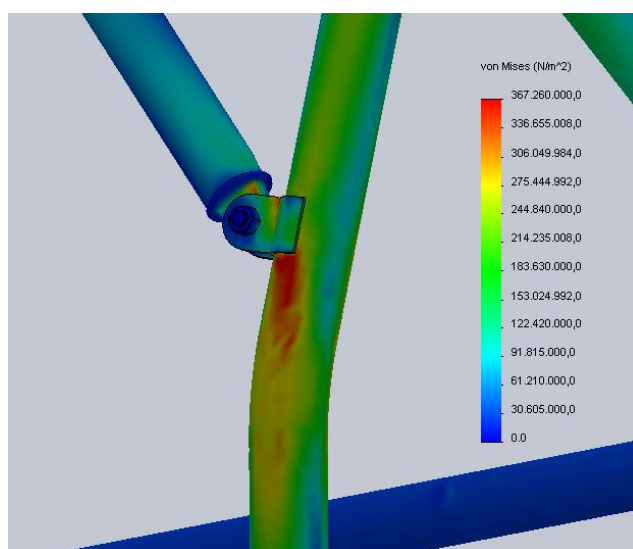


Figura 7.11 – Diagrama de tensões - Zona exterior da curva inferior do arco principal.

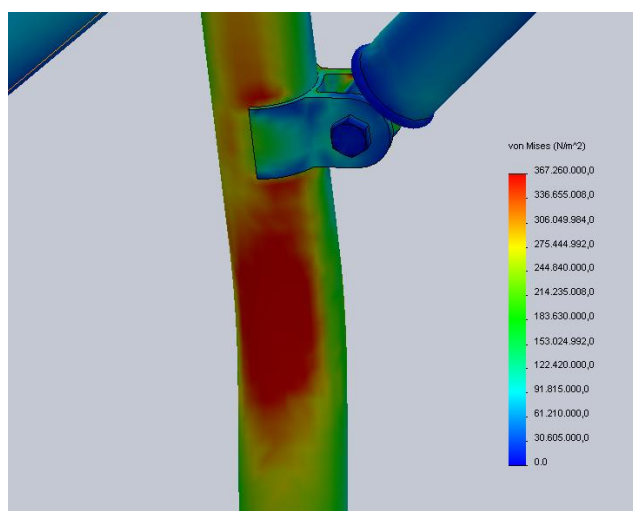


Figura 7.12 – Diagrama de tensões - Zona interior da curva inferior do arco principal.

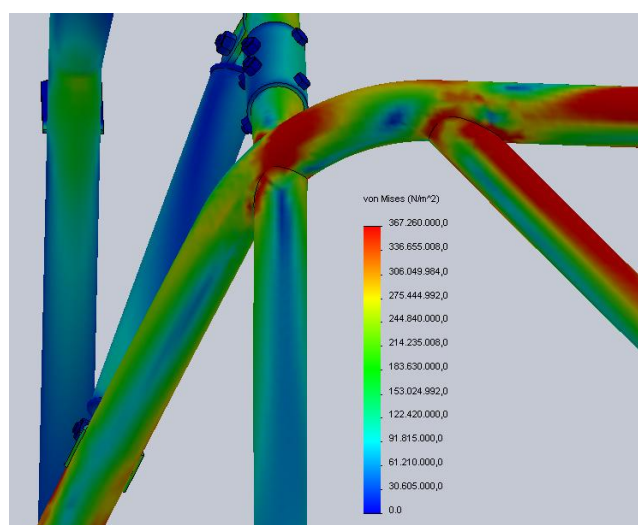


Figura 7.13 – Diagrama de tensões - Curva superior do arco principal.

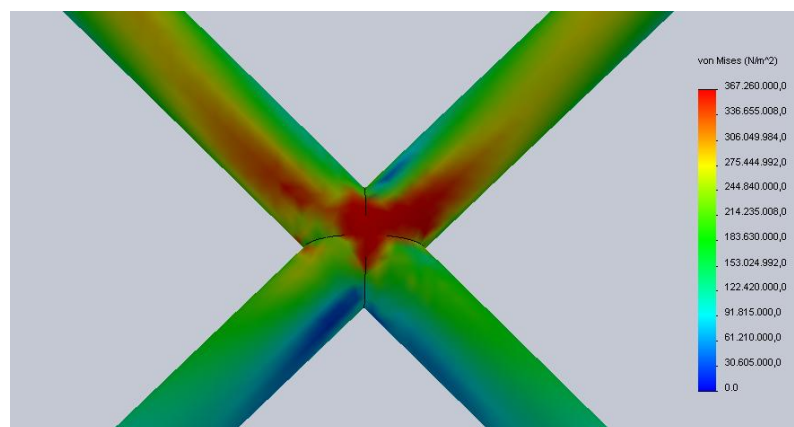


Figura 7.14 – Diagrama de tensões – União do "X" traseiro.

7.1.2. Resultados – Deslocamento

A Figura 7.15 apresenta o diagrama de deslocamentos resultante do cálculo numérico do SolidWorks.

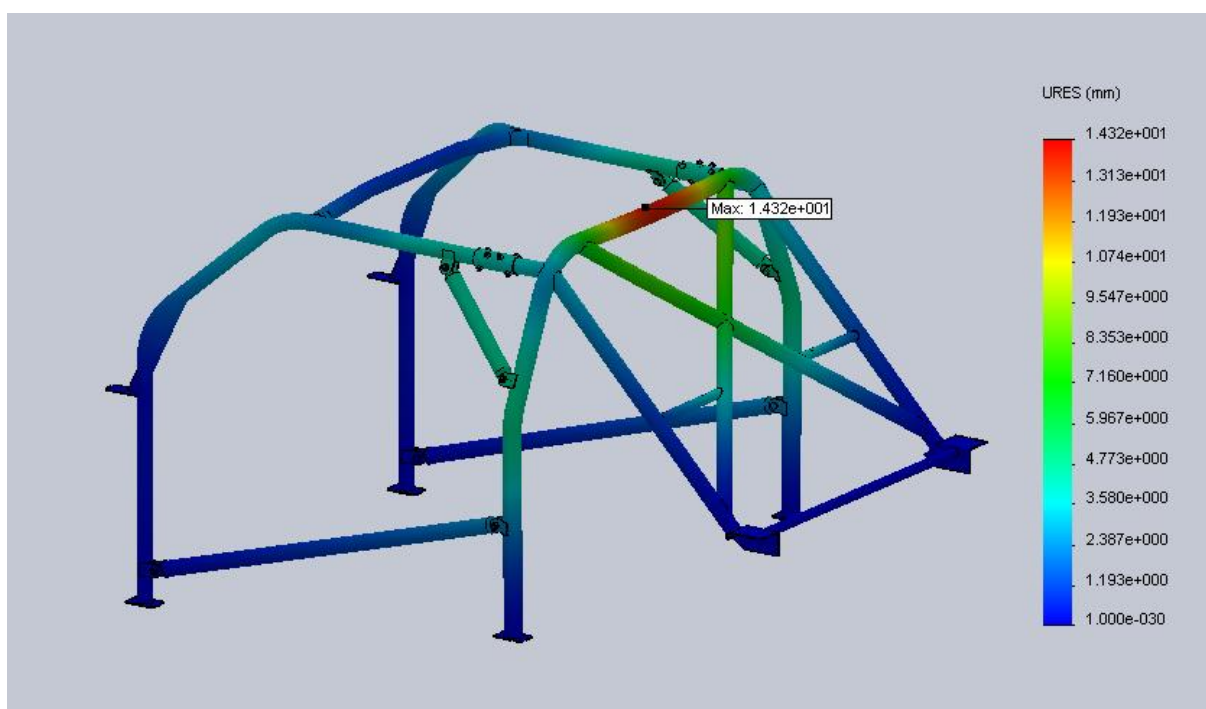


Figura 7.15 – Diagrama de deslocamentos – Ensaio arco principal.

A Figura 7.16 representa um pormenor do diagrama de deslocamentos onde a flexão que o arco principal sofreu foi máxima.

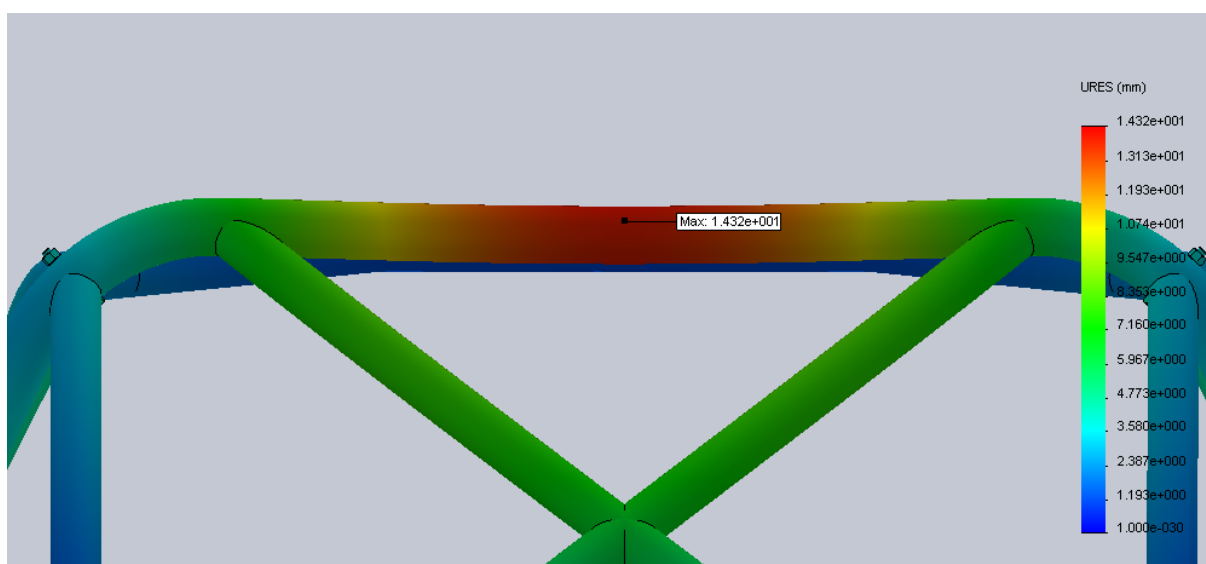


Figura 7.16 – Pormenor do diagrama de deslocamentos – Ensaio arco Principal.

Como se vê na Figura 7.15 e Figura 7.16 o valor máximo do deslocamento que resultou do ensaio sobre o arco principal foi de 14,32 mm. No entanto, o deslocamento máximo segundo o eixo de aplicação da carga retirado do SolidWorks foi 12,5133 mm. Este valor está abaixo do valor permitido pelo regulamento que diz que a estrutura não pode apresentar um deslocamento superior a 50 mm em nenhum sítio segundo o eixo de aplicação da carga. No

entanto, como foi visto anteriormente, a estrutura entra no regime plástico e, por isso não se pode tirar esta conclusão.

7.2. Ensaio sobre o Arco Lateral

No ensaio do arco lateral, à semelhança do ensaio sobre o arco principal também não foi possível aplicar a força com a estrutura rígida pois as capacidades do computador não o permitiram. No entanto o valor da carga, a sua aplicação (direcção e sentido) e local de aplicação foram mantidos de forma a tornar o ensaio mais próximo possível das normas. A Figura 7.17 e Figura 7.18 demonstram as condições de fronteira aplicadas no arco de segurança.

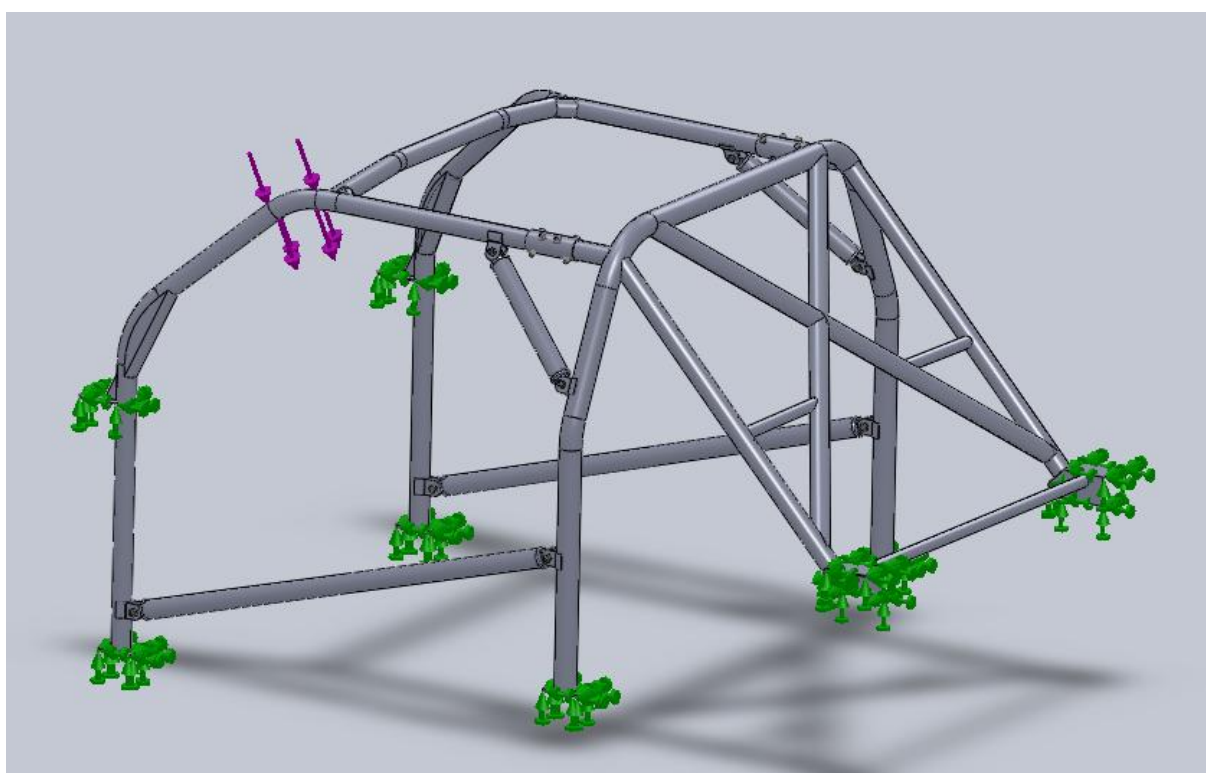


Figura 7.17 – Condições de fronteira – Ensaio arco lateral.

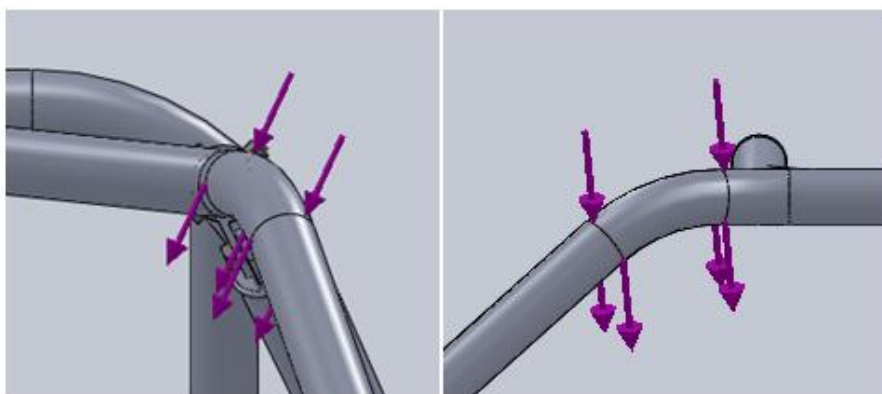


Figura 7.18 – Aplicação da carga – Ensaio arco lateral.

A carga aplicada apresenta o seguinte valor:

$$P = 3,5 \times (700 + 150) \times 9,8 = 29155 \text{ N}$$

Como se vê na Figura 7.17 foram colocados apoios encastrados nas 8 fixações de ligação ao exterior que o arco apresenta.

7.2.1. Resultados – Tensão

A Figura 7.19 apresenta o diagrama de tensões resultante do cálculo numérico do SolidWorks.

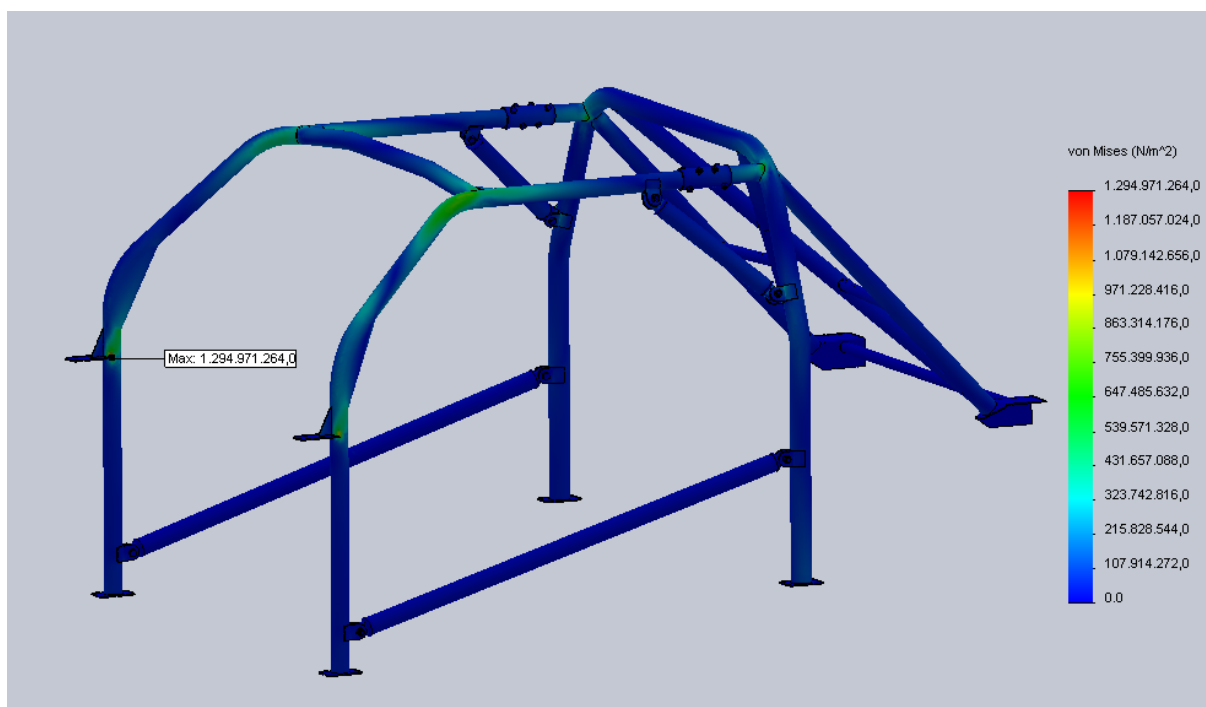


Figura 7.19 – Diagrama de tensões – Ensaio arco lateral.

Como se vê na Figura 7.19 a tensão máxima de Von Mises resultante do ensaio sobre o arco lateral é aproximadamente 1295 MPa. No entanto esta tensão resulta de uma tensão

concentrada pois está localizada junto de um apoio de ligação ao chassis do carro. Assim, após alguma análise do diagrama verificou-se que a zona onde ocorria a tensão máxima sem ser originada por concentrações de tensões era na curva superior do arco lateral. Para descobrir o valor máximo nesta zona fez-se recurso à ferramenta “Prob Result” do SolidWorks e seleccionou-se a face desejada. A Figura 7.20 mostra este procedimento e na Figura 7.21 apresenta-se o valor máximo calculado pelo SolidWorks.

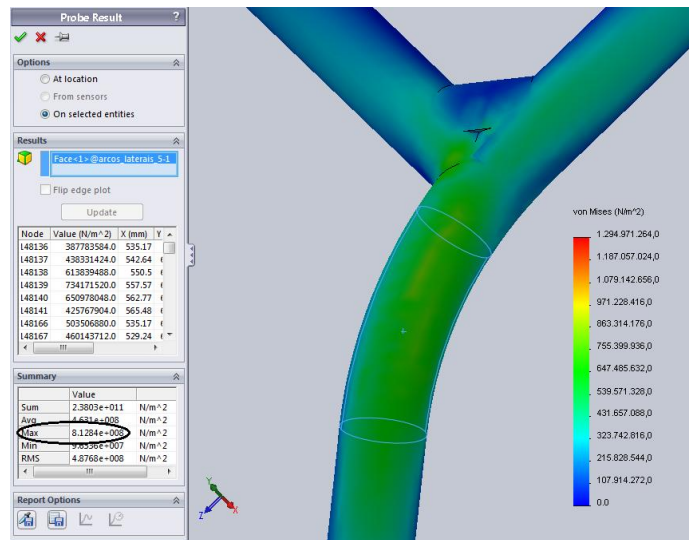


Figura 7.20 – Tensão máxima sobre a curva superior do arco lateral.

Summary		
	Value	
Sum	2.3803e+011	N/m^2
Avg	4.631e+008	N/m^2
Max	8.1284e+008	N/m^2
Min	9.6536e+007	N/m^2
RMS	4.8768e+008	N/m^2

Figura 7.21 – Valor máximo da tensão.

Como se vê na Figura 7.21, o valor máximo da tensão para este caso é aproximadamente 813 MPa. Similarmente ao que aconteceu no ensaio do arco principal, também neste ensaio a tensão resultante é superior à tensão limite de elasticidade (367 MPa) e à tensão de rotura (470 MPa). Assim, as conclusões obtidas no ensaio anterior aplicam-se também a este, ou seja, a estrutura entra no regime plástico e por isso não se pode concluir quanto à ocorrência de rotura ou não.

Caso se pretenda manter a geometria e dimensões dos tubos, será necessário aplicar um material que apresente uma tensão limite de elasticidade no mínimo de 893 MPa para resistir a este ensaio sem entrar no regime plástico.

De forma a estudar a estrutura mostrando as zonas mais solicitadas neste ensaio, procedeu-se à alteração do valor limite de tensão da escala do diagrama de tensões para o valor do limite de elasticidade do material. Assim, a escala da Figura 7.22 vai de 0 a 367,26 MPa e caso

algum local da estrutura esteja a um valor superior ao valor máximo da escala, esse local ficará com a cor correspondente ao valor máximo.

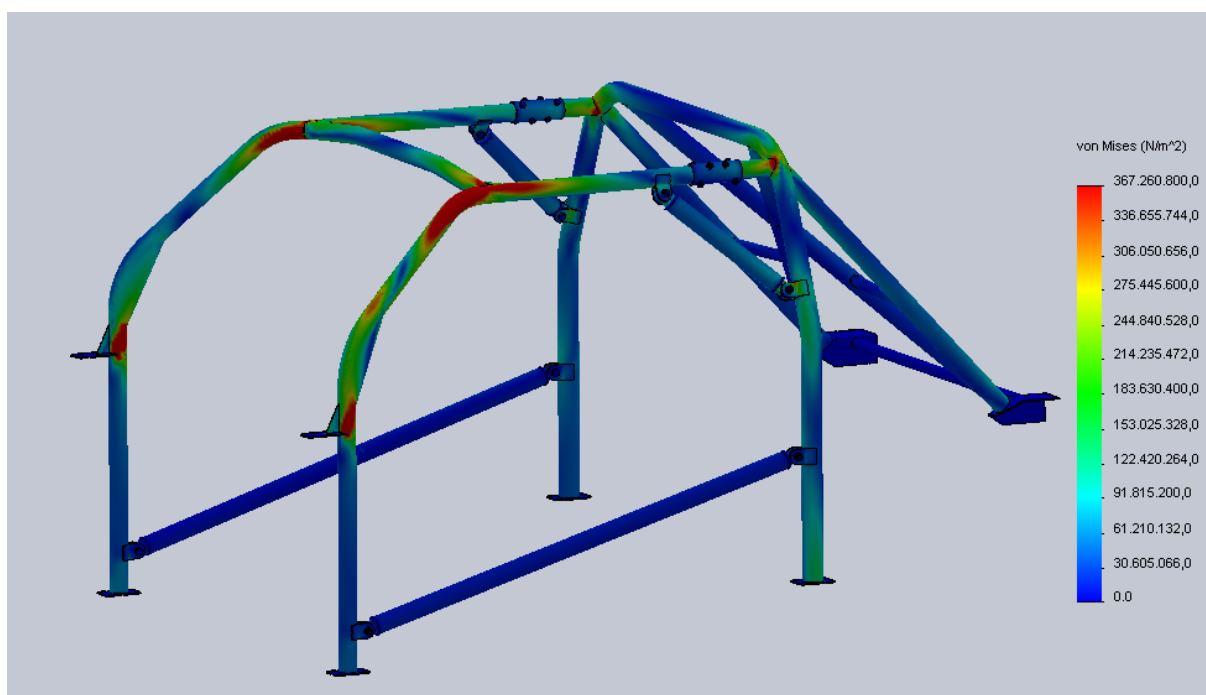


Figura 7.22 - Diagrama de tensões – Ensaio arco lateral.

Da análise da Figura 7.22 conclui-se que existem várias zonas do arco que estão sujeitas a uma tensão igual ou superior à tensão limite de elasticidade. Estas zonas são:

- Curva superior do arco lateral (Figura 7.23);
- Apoios médios do arco lateral (Figura 7.24);
- Curva inferior do arco lateral (Figura 7.25) e,
- Arco principal (concentração de tensões) (Figura 7.26).

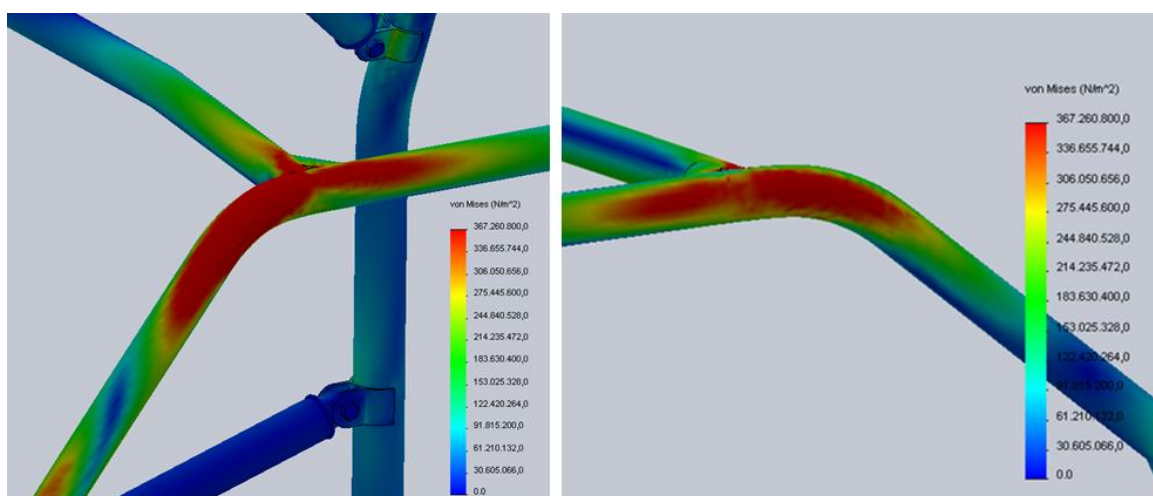


Figura 7.23 – Diagrama de tensões – Curva superior do arco lateral.

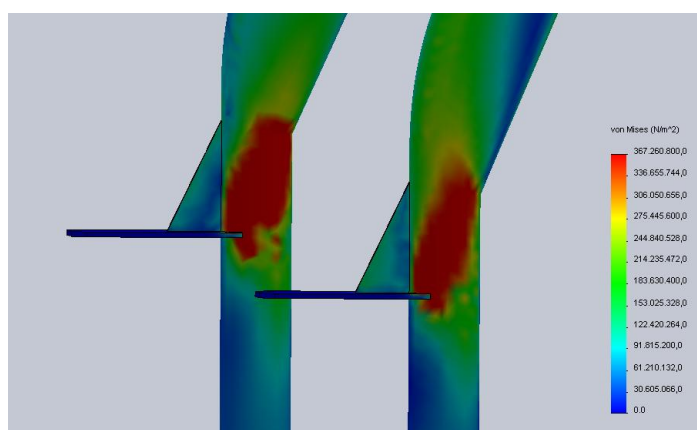


Figura 7.24 – Diagrama de tensões – Apoios médios do arco lateral.

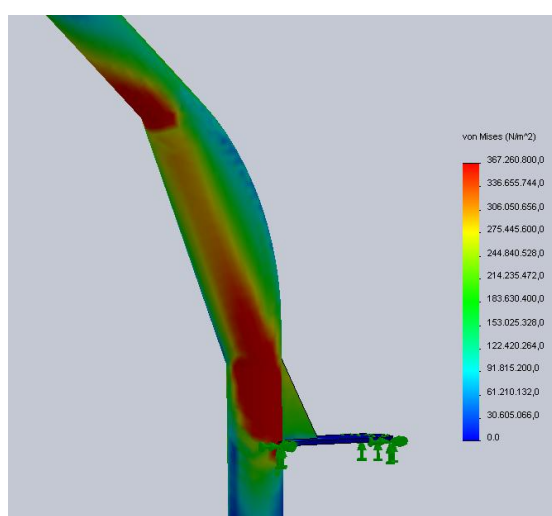


Figura 7.25 – Diagrama de tensões – Curva inferior do arco lateral.

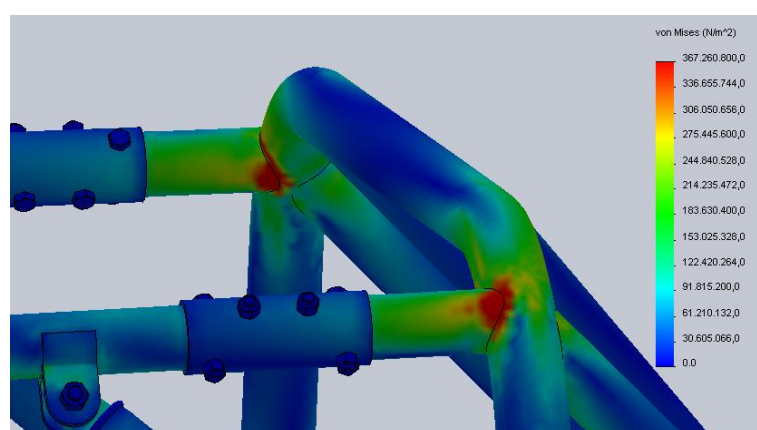


Figura 7.26 – Diagrama de tensões – Pormenor do arco principal.

7.2.2. Resultados – Deslocamento

A Figura 7.27 apresenta o diagrama de deslocamentos resultante do cálculo numérico do SolidWorks e a Figura 7.28 representa um pormenor do diagrama de deslocamentos onde a flexão foi máxima.

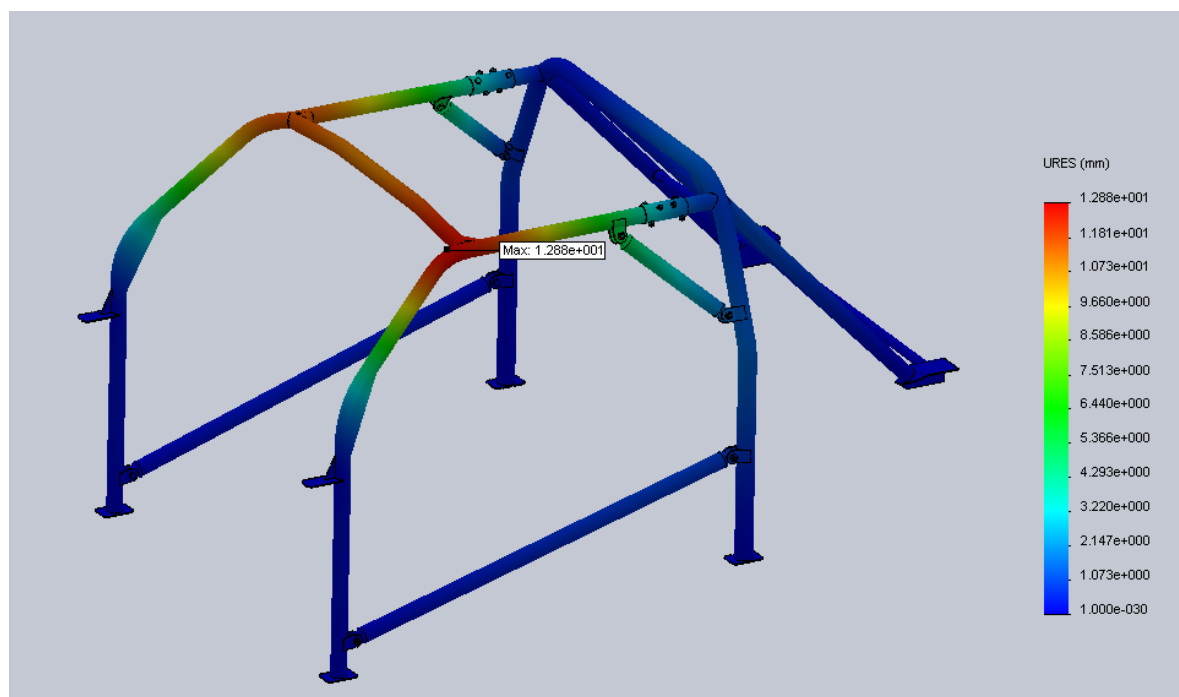


Figura 7.27 – Diagrama de deslocamentos – Ensaio arco lateral.

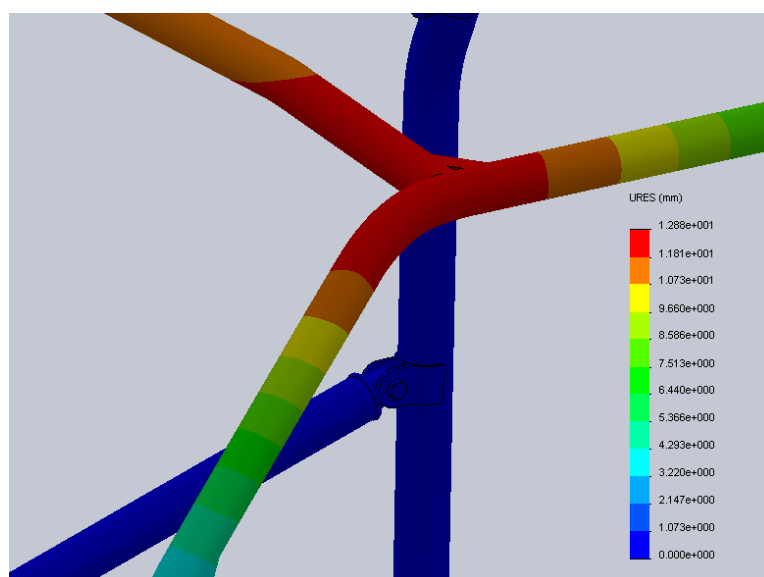


Figura 7.28 – Pormenor do diagrama de deslocamentos – Ensaio arco lateral.

Como se vê na Figura 7.29 o valor máximo do deslocamento que resultou do ensaio sobre o arco principal foi de 12,88 mm. No entanto, o deslocamento máximo segundo o eixo de aplicação da carga não corresponde a este valor.

De maneira a saber o valor do deslocamento segundo o eixo de aplicação da carga foi criado um sistema de coordenadas auxiliar. Este sistema encontra-se representado na Figura 7.29.

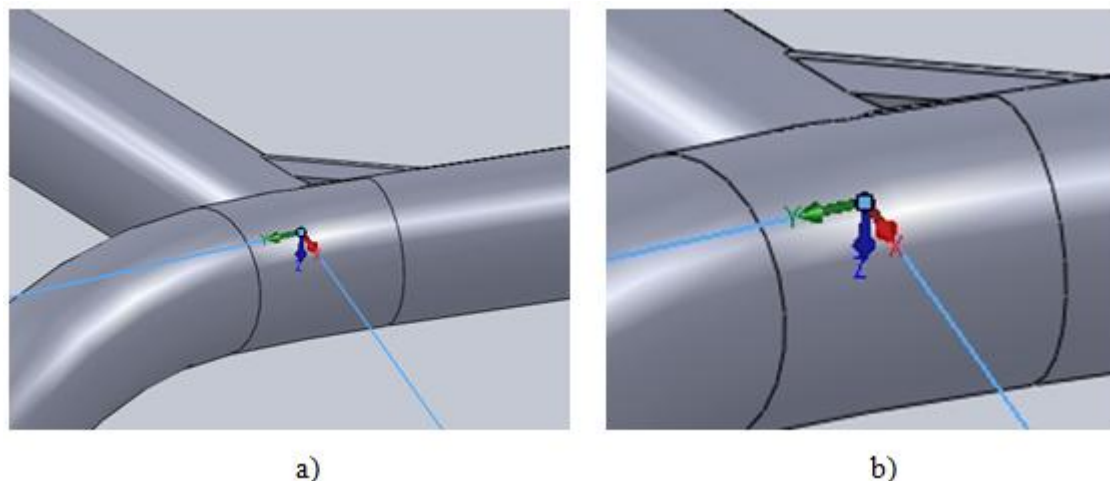


Figura 7.29 – a) Sistema de coordenadas auxiliar, b) zoom do sistema de coordenadas.

Assim, o valor máximo de deslocamento corresponde ao valor máximo segundo o eixo dos zz. Pedindo ao SolidWorks a lista de resultados dos deslocamentos segundo este novo sistema de eixos este devolve a janela representada na Figura 7.30.

List Results

Study name: Study 2

Units : mm

Step Number: 1

Selected reference : Coordinate System1

Node	UX	UY	UZ	URES
147960	-8.35072e+000	-1.83287e-001	9.80061e+000	1.28771e+001
203302	-8.35029e+000	-1.85066e-001	9.80059e+000	1.28768e+001
155336	-8.35010e+000	-1.87265e-001	9.79935e+000	1.28758e+001
203325	-8.35059e+000	-1.74305e-001	9.79794e+000	1.28749e+001
203303	-8.34860e+000	-1.74087e-001	9.79789e+000	1.28735e+001
164794	-8.34803e+000	-1.74244e-001	9.79709e+000	1.28726e+001
203296	-8.34585e+000	-1.93714e-001	9.79509e+000	1.28699e+001
203307	-8.34353e+000	-1.93998e-001	9.79472e+000	1.28681e+001
203306	-8.34318e+000	-2.04304e-001	9.79234e+000	1.28662e+001

Close Save Help

Figura 7.30 – Lista de resultados dos deslocamentos segundo o novo sistema de eixos.

Como se vê na Figura 7.30 o valor do deslocamento máximo segundo o eixo de aplicação da carga é aproximadamente 9,8 mm. Este valor está abaixo do valor permitido pelo regulamento que diz que a estrutura não pode apresentar um deslocamento superior a 100 mm segundo o eixo de aplicação da carga. No entanto, como foi visto anteriormente e à semelhança do que acontece no ensaio do arco principal a estrutura entra no regime plástico e, por isso não se pode tirar esta conclusão.

8. Conclusão

8.1. Conclusões

Neste trabalho procedeu-se à análise de tensões e deslocamentos do arco de segurança de uma viatura de competição e verificação das condições de homologação. Desta forma, e respondendo ao objectivo principal, embora os deslocamentos verificados na estrutura estejam dentro dos limites permitidos pelo regulamento, não se pode concluir que a estrutura satisfaça esses valores limites pois, entra no regime plástico. Assim, no ensaio sobre o arco principal a tensão máxima resultante foi cerca de 2,4 vezes superior à tensão limite de elasticidade e, no ensaio sobre o arco lateral, foi cerca de 2,2 vezes superior.

Para além dos pontos onde a tensão foi máxima, a estrutura apresentou vários locais onde a tensão ultrapassou o valor limite de elasticidade do material. Assim, no ensaio sobre o arco principal, as zonas mais solicitadas, estas tensões ocorreram foram as curvas inferiores e superiores do arco principal, zonas próximas dos apoios ao chassis do arco principal, membros de prolongamento traseiros e apoios médios do arco lateral. Para além destas zonas, o elemento “X” traseiro também apresentou uma zona crítica. Relativamente ao ensaio sobre o arco lateral, as zonas mais solicitadas e onde a tensão resultante passou o limite de elasticidade do material foram as suas curvas superiores e inferiores e apoios médios. Neste ensaio o arco principal também apresentou zonas com concentrações de tensões.

Relativamente à verificação das condições de homologação, o arco de segurança estudado apresentou alguns aspectos que não satisfazem o regulamento. Assim, as características encontradas dizem respeito à falta de reforços diagonais no arco principal, falta de reforços do tejadilho e o facto dos tubos usados terem sido obtidos por um processo de estiramento a quente e não a frio.

A realização do presente trabalho permitiu ainda conhecer algumas particularidades do uso de elementos sólidos e elementos de casca. De uma maneira geral verificou-se a boa aplicabilidade dos elementos sólidos e o baixo tempo de realização de malhas de elementos de casca. Verificou-se também a melhor aptidão dos elementos de casca para o cálculo de deslocamentos e o uso da transição automática da malha revelou-se vantajoso para malhas normais ou intermédias. Por último, o tamanho de malha fina revelou o melhor compromisso resultados/tempo de criação da malha.

8.2. Sugestão de Trabalhos Futuros

Como sugestões de trabalhos a desenvolver no futuro indicam-se os seguintes:

- Verificação da qualidade das soldaduras nas zonas onde ocorrem concentrações de tensões (locais críticos);
- Concepção de um arco de segurança que obedeça integralmente ao regulamento, sua análise e comparação com o arco actual;
- Análise elasto-plástica da estrutura;
- Realização de testes experimentais como forma de validação dos resultados numéricos;
- Análise da estrutura em outros programas de modelação por elementos finitos.

9. Referências

- Auto Destaques. (Abril de 2011). *Auto Destaques, Air bag faz 25 anos*. Obtido de <http://www.autodestaques.com/airbag-faz-25-anos.html>
- Autopédia. (Março de 2011). *Autopédia, segurança activa*. Obtido de http://www.xl.pt/autopedia/seguranca/segur_activa.shtml
- Autopédia. (Março de 2011). *Autopédia, segurança passiva*. Obtido de http://www.xl.pt/autopedia/seguranca/segur_passiva.shtml
- AutoPower. (Abril de 2011). *AutoPower Roll Cages*. Obtido de <http://www.autopowerindustries.com/rollcages.asp>
- Botelho, D. P. (2010). *Desenvolvimento de um Processador Numérico baseado no Método dos Elementos Finitos no Domínio do Tempo*. Florianópolis.
- CIMM. (Maio de 2011). *Simulação por Elementos Finitos*. Obtido de <http://www.cimm.com.br/portal/servicos/exibir/1044-simulao-por-elementos-finitos>
- FIA. (2006). Anexo J Technique.
- FPAK. (Dezembro de 2010). ANEXO "J" Ao Código Desportivo Internacional Art. 253 - Equipamento de Segurança.
- Gomes, J. S. (2009). *Mecânica dos Sólidos e Resistência dos Materiais*. Porto.
- Hauser Racing. (Junho de 2008). *Roll Cages Custom Made By Hauser Racing*. Obtido de <http://www.hauserracing.com/pages/Roll-Cages.aspx>
- Introdução ao MEF*. (Maio de 2011). Obtido de <http://www.poli.usp.br/d/PMR5222/MEFtutorial.pdf>
- LNZ. (Maio de 2011). *Serviços - Modelagem Computacional*. Obtido de <http://www.lnz.com.br/index.php?cmd=servicos&id=10>
- Notícias automotivas. (Março de 2011). *Notícias automotivas*. Obtido de <http://www.noticiasautomotivas.com.br/controle-de-estabilidade-esp-sera-obrigatorio-na-europa-a-partir-de-2011/>
- PETMEC. (Junho de 2011). *Tabela de flechas e deflexões angulares para algumas vigas isostáticas*. Obtido de

<http://www.uff.br/petmec/downloads/resmat/U%20-%20Apendice%20D%20Flechas%20Vigas2.pdf>

Purdue University. (Junho de 2011). *Finit Element Analysis (FEA)*. Obtido de <https://engineering.purdue.edu/AAE/Academics/Courses/Raisbeck/fea.htm>

Ramos, S. (2008). *Concepção de uma armadura de segurança para um automóvel de competição*. Porto.

Raquel S. Lotti, A. W. (Abril de 2006). Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos.

Smith, S. E. (Março de 2003). *WiseGeek, What Is a Roll Cage?* Obtido de

<http://www.wisegeek.com/what-is-a-roll-cage.htm>

SolidWorks. (Junho de 2011). *Ajuda do SolidWorks*. Obtido de

http://help.solidworks.com/2011/portuguese-brazilian/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Meshing_topics/ID_Solid_Mesh.html

Tube Solution. (Junho de 2011). DIN 1629-84 Seamless Circular Tubes of Non Alloys Steels with special Quality Requirements.

TUBONOR S. A. (Junho de 2011). Catálogo General.

ANEXO A: Anexo “J” Art. 253 – Equipamento de Segurança FPAK

ANEXO “J” AO CÓDIGO DESPORTIVO INTERNACIONAL

ACTUALIZAÇÃO EM 13-12-2010

Art. 253 – EQUIPAMENTO DE SEGURANÇA (GR. N, A, B e SP)

ARTIGO 1 – Um automóvel cuja construção pareça representar perigo poderá ser excluído pelos Comissários Desportivos.

ARTIGO 2 – Qualquer dispositivo facultativo deverá ser montado segundo o regulamento.

ARTIGO 3 – CANALIZAÇÕES E BOMBAS

3.1 – Protecção

Protecções dos tubos de combustível, óleo e canalizações do sistema de travagem, deverão ser previstas no exterior contra todo o risco de deterioração (corrosão, pedras, rotura mecânica, etc.) e no interior contra qualquer risco de incêndio e de deterioração.

Aplicação:

Facultativo para os Automóveis de Produção (Grupo N) caso a montagem de série seja mantida. Obrigatória para todos os Grupos, se a montagem de série não for mantida ou se as canalizações que passam no interior da viatura e as guarnições que os protegem, tiverem sido retiradas.

No caso das tubagens de combustível, as partes metálicas que estejam electricamente isoladas da carroçaria por peças que não conduzam a electricidade, devem ser “ligadas à massa”.

3.2 – Especificações e Instalação

Aplicação obrigatória, caso a montagem de série não tenha sido mantida.

As canalizações de água de arrefecimento ou de óleo de lubrificação não podem passar no interior do habitáculo.

As montagens das canalizações de carburante, de óleo de lubrificação e das que contenham fluido hidráulico sob pressão, deverão ser fabricadas em conformidade com as especificações abaixo indicadas:

- Se forem flexíveis devem possuir conexões estanques aparafusadas, cravadas ou auto-obturantes e uma protecção exterior resistente à abrasão e ao fogo (não permitindo a combustão).
- Pressão de rebentamento mínima, medida a uma temperatura operacional mínima de:
- Canalizações de carburante (excepto as ligações aos injectores e o radiador de arrefecimento montado no circuito de retorno ao reservatório):

70 bar (1000 Psi) a 135 °C (250 °F).

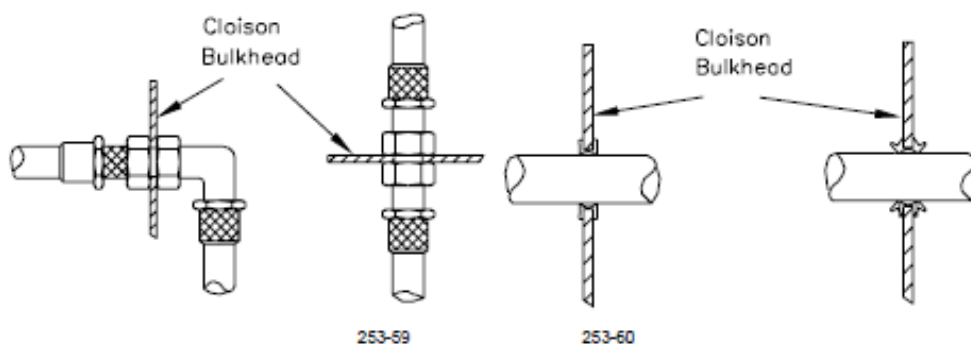
— Canalizações de óleo de lubrificação:

70 bar (1000 Psi) a 232°C (450°F).

— Canalizações contendo fluidos hidráulicos sob pressão:

280 bar (4000 Psi) a 232 °C (450 °F).

- Se a pressão de funcionamento de um sistema hidráulico é superior a 140 bar (2000 Psi), a pressão de rebentamento deve ser pelo menos duas vezes superior.
- As canalizações de gasolina ou de fluidos hidráulicos poderão passar pelo habitáculo, mas sem apresentarem emendas ou conexões, salvo junto às divisórias dianteira e traseira, segundo os desenhos 253-1 e 253-2, e com excepção do circuito de travagem e o circuito do líquido de embraiagem.



3.3 – CORTE AUTOMÁTICO DE COMBUSTÍVEL

Recomendado para todos os grupos:

Todas as canalizações de alimentação de carburante que se dirijam para o motor, deverão ter válvulas de corte automático, montadas directamente no reservatório de carburante e que fechem automaticamente todas as canalizações de carburante sob pressão, no caso de rotura ou fuga numa delas.

As canalizações deverão também conter um equipamento anti-rolamento actuado por gravidade.

Obrigatório:

Todas as bombas de carburante deverão funcionar apenas quando o motor está em funcionamento, exceptuando o momento de arranque.

3.4 – Respirador do reservatório de combustível

O tubo de respiro do reservatório de carburante até às válvulas abaixo indicadas, deverá ter as mesmas especificações que as canalizações de carburante (artigo 3.2) e deverá ser equipado com um sistema dotado dos seguintes elementos :

- Válvula anti-capotamento accionada por gravidade
- Válvula de respiro com flutuador
- Válvula de purga com taragem calibrada a 200mbar, que funcione quando a válvula com flutuador estiver fechada.

Caso o diâmetro interior do tubo de respiro ao ar livre seja superior a 20 mm, é obrigatório montar nele uma válvula anti-retorno homologada pela FIA, tal como indicado no Art. 253-14.5.

ARTIGO 4 – SEGURANÇA DE TRAVAGEM

Duplo circuito comandado pelo mesmo pedal: a acção deve exercer-se normalmente sobre todas as rodas; em caso de fuga ou falha de qualquer secção das tubagens, a acção do travão deverá continuar a exercer-se sobre, pelo menos, duas rodas.

Aplicação: Se este sistema já vier montado no automóvel produzido em série, não é necessária nenhuma modificação.

ARTIGO 5 – FIXAÇÕES SUPLEMENTARES

Pelo menos duas fixações suplementares para cada uma das tampas do motor e do Porta-bagagens, devendo as fixações originais estar inoperantes ou podendo ser suprimidas.

Os objectos essenciais transportados no interior do veículo (tais como a roda de reserva, estojo de ferramentas, etc.) devem estar solidamente fixos.

Aplicação: Facultativa para o Grupo N, obrigatória para todos os outros Grupos

ARTIGO 6 – CINTOS DE SEGURANÇA

6.1 – CINTOS:

Duas cintas nos ombros e uma abdominal. Pontos de fixação à carroçaria: dois para o abdominal, e dois (ou um simétrico) para os dois ombros.

Estes cintos devem obedecer às normas de homologação FIA 8853/98 ou 8854/98. Além disto, os sistemas de cintos a utilizar em circuito, devem estar equipados de um sistema de fecho por "fecho rotativo".

Para os Ralis, dois corta-cintos deverão estar permanentemente a bordo. Eles deverão ser facilmente acessíveis ao piloto e ao co-piloto, quando sentados nos seus lugares e com os cintos colocados.

No entanto, para competições em estrada aberta, este sistema deve ser substituído por fecho do tipo "botão de desbloqueamento".

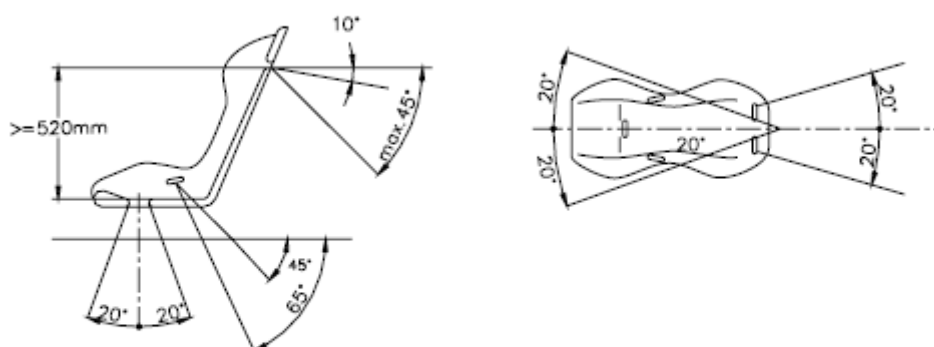
As ADN poderão homologar pontos de fixação, situados na armadura de segurança, quando esta for objecto de homologação (cf. Art. 253.8.4), sob a condição de estes pontos serem testados.

6.2 – Instalação

É proibido fixar os cintos aos bancos ou aos seus suportes.

Um cinto de segurança pode ser instalado nos pontos que o construtor destina a esse fim.

As localizações geométricas recomendadas para os pontos de fixação devem fazer-se como mostra o desenho 253-61.



253-61

Os cintos dorsais devem dirigir-se para trás e para baixo e não devem ser montados com ângulos superiores a 45° em relação à horizontal que passa pelo topo do assento, e é aconselhado não ultrapassar um ângulo de 10°. Os ângulos máximos, em relação ao eixo do banco, devem ser de 20° (divergente ou convergente).

Caso seja possível, deve ser mantido o ponto de fixação do cinto no montante C, previsto pelo construtor.

Pontos de fixação que envolvam ângulos maiores em relação ao plano horizontal não deverão ser utilizados.

Nesse caso, os cintos dorsais dos sistemas de 4 pontos, podem ser instalados nos pontos de fixação dos cintos abdominais dos bancos traseiros previstos pelo construtor.

Para um sistema de 4 pontos, os cintos dorsais devem cruzar-se simetricamente em relação ao eixo do banco da frente.

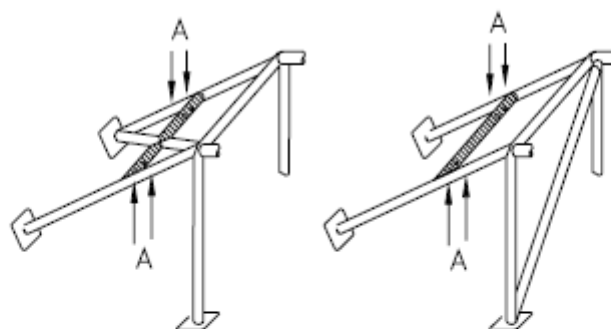
Um sistema de cintos não deve ser instalado com um banco sem apoio de cabeça ou com o apoio de cabeça integrado nas costas (sem abertura entre costas e apoio).

Os cintos abdominais e entre-pernas, não devem passar por cima dos lados do banco mas através dele, com o objectivo de contornar e apoiar a região pélvica na maior superfície possível. Os cintos abdominais devem adaptar-se o mais possível entre a zona pélvica e o ponto mais alto da coxa. Não devem apoiar a região abdominal. Para atingir este fim pode furar-se o banco de série.

Deve ainda evitar-se que os cintos toquem arestas vivas.

No caso de a montagem dos cintos dorsais ou entre-pernas ser impossível, devem instalar-se novos pontos de fixação, o mais perto possível do eixo traseiro, para os cintos dorsais. Caso isto não seja possível, os cintos dorsais poderão ser fixados ou apoiados numa barra transversal traseira, fixada ao arco de segurança ou aos pontos de fixação superiores dos cintos da frente.

Podem também ser fixados à armadura anti-capotamento ou à barra anti-aproximação (aumento de rigidez).



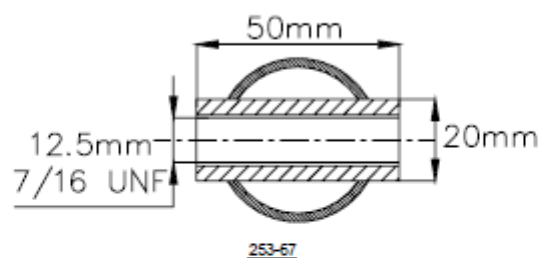
(A) trous de montage pour harnais
mounting holes for harness

253-66

No caso da utilização de reforço transversal, esse deve ter a dimensão mínima de 38 x 2,5 mm ou 40 x 2.0 mm em aço carbono estirado a frio de resistência mínima à tracção de 350 N/mm².

A altura desse reforço deve ser tal, que os cintos dorsais sejam "guiados" para trás, com um ângulo compreendido entre 10° e 45° em relação à horizontal (desde o bordo superior do banco), recomendando-se um ângulo de 10°.

A fixação dos cintos, pode ser feita por volta do próprio cinto ou ainda por parafusos, mas neste caso, deve-se soldar um reforço, para cada ponto de parafuso (ver desenhos 253-17 C e 253-53 para as dimensões).



Estas peças serão aplicadas no reforço transversal e os cintos fixados com parafusos M 12 8.8 ou 7/16 UNF.

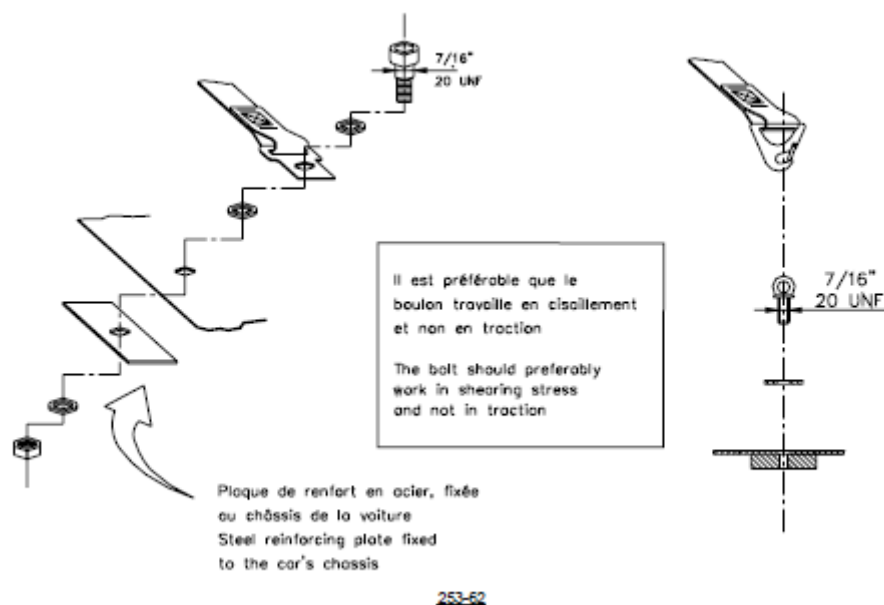
Cada ponto de fixação deve poder resistir a uma carga de 1470 daN ou 720 daN para os cintos de segurança entre-pernas.

No caso de um ponto de fixação para dois cintos (proibido para as faixas dos ombros), a carga considerada será a soma das cargas consideradas.

Para cada novo ponto de fixação criado, e deverá ser usada uma placa de reforço de 3 mm de espessura e 40 cm² de área.

Princípios de fixação ao chassis / monocoque

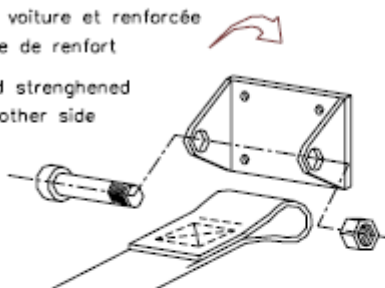
1 — Sistema de fixação geral: ver desenho 253-62.



2 — Sistema de fixação para cintos dorsais: ver desenho 253-63.

plaque fixée au châssis de la voiture et renforcée
de l'autre côté par une plaque de renfort

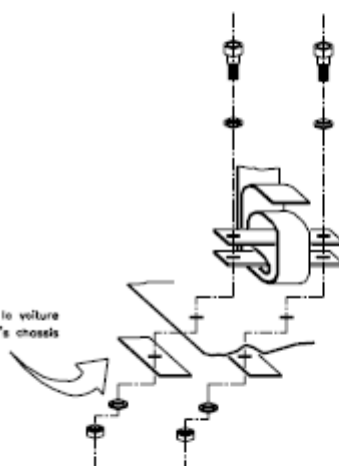
plate fixed to the chassis and strengthened
by a reinforced plate on the other side



253-63

3 — Sistema de fixação para cintos entre-pernas: ver desenho 253-64.

plaque de renfort fixée au châssis de la voiture
reinforcing plate fixed to the car's chassis



253-64

6.3 – Utilização

Um sistema de cintos de segurança deve ser usado conforme a homologação, sem modificações ou supressão de peças, em conformidade com as instruções do fabricante.

A eficácia e a duração dos cintos de segurança, está directamente ligada à maneira como são instalados, utilizados e conservados.

Os cintos de segurança devem ser substituídos após uma forte colisão.

É preciso substituir imediatamente os cintos, se eles forem cortados ou estiverem esgaçados ou ainda em caso de perda de qualidades por acção do sol ou produtos químicos.

É igualmente preciso substituir as partes metálicas ou fechos, caso estejam deformados ou corroídos.

Todos os sistemas de cintos que não se apresentem nas melhores condições, deverão ser substituídos.

ARTIGO 7 – EXTINTORES – SISTEMA DE EXTINÇÃO

A utilização dos seguintes produtos é proibida: BCF, NAF.

7.1 –

Em Rally:

Aplicam-se os artigos 7.2 e 7.3.

Em circuito, Slalom e rampas:

Aplicam-se os artigos 7.2 ou 7.3

7.2 – Sistemas instalados

7.2.1 – Cada viatura deve estar equipada com um sistema de extinção que figure na lista técnica n.º 16: "Sistemas de extinção homologados pela FIA"

7.2.2 – Cada botija de extintor deve estar protegida de maneira adequada e instalada dentro do habitáculo.

A botija do extintor poderá também estar no compartimento da bagagem desde que se encontre a pelo menos 300 mm do perímetro exterior da carroçaria (em qualquer direcção) horizontalmente.

Ela deve estar fixada por pelo menos duas cintas metálicas bloqueadas por parafusos e esse sistema da fixação deverá poder resistir a uma desaceleração de 25 g.

Em qualquer caso, as fixações devem poder suportar uma desaceleração de 25 g

Todo o sistema extintor deve ser à prova de fogo.

As canalizações em plástico são proibidas e as canalizações em metal obrigatórias.

7.2.3 – O piloto, sentado ao volante, com os cintos colocados, deve poder disparar normalmente todos os extintores.

Além disto, um dispositivo de disparo exterior deve ser combinado com o corta-circuitos ou colocado junto deste, e deve ser indicado por um símbolo **E** vermelho dentro de um círculo branco de 10 cm de diâmetro, com bordo vermelho.

Para os WRC, a activação do extintor do interior ou exterior da viatura, deverá obrigatoriamente accionar em simultâneo corte do motor e circuitos eléctricos

7.2.4 – Este sistema deve funcionar em qualquer posição da viatura.

7.2.5 – Os tubos de repartição do produto extintor, devem ser apropriados ao produto utilizado e não devem estar virados na direcção dos ocupantes.

7.3 – Extintores manuais

7.3.1 – Cada viatura deve estar equipada com um ou dois extintores.

7.3.2 – Agentes extintores autorizados: AFFF, FX G – TEC, Viro 3, pó ou qualquer outro agente homologado pela FIA.

7.3.3 – Quantidade mínima de agente extintor:

AFFF:	2,4 litros
FX G-TEC:	2,0 kg
Viro3	2,0 kg
Zero 360	2,0 kg
Pó	2,0 kg

7.3.4 – Todos os extintores devem ser pressurizados em função do conteúdo como segue:

AFFF:	conforme as instruções do fabricante
FX G-TEC e Viro3:	conforme as instruções do fabricante
Zero 360	conforme as instruções do fabricante
Pó	8 bar mínimo, 13,5 bar máximo

Além disto, no caso dos AFFF, os extintores devem estar equipados com um sistema que permita verificar a pressão do conteúdo.

7.3.5 – As informações seguintes devem figurar visivelmente em cada extintor:

- Capacidade
- Tipo de produto
- Peso ou volume do produto
- Data de verificação do extintor, que não deve ser superior a dois anos desde a carga inicial ou recargas seguintes ou data limite de validade correspondente.

7.3.6 – Cada botija de extintor deverá estar protegida de forma eficaz. Em qualquer caso, as suas fixações deverão ser capazes de resistir a uma desaceleração de 25 g.

Além disto, apenas serão aceites como fixação, as cintas metálicas de desengate rápido.

7.3.7 – Os extintores devem estar colocados ao alcance do piloto e do co-piloto.

ARTIGO 8 – ARMADURA DE SEGURANÇA

8.1 – Generalidades

A montagem de uma armadura de segurança é obrigatória.

Ela pode ser:

- a) Construída de acordo com as exigências abaixo;
- b) Homologada ou certificada por uma ADN de acordo com o regulamento de homologação para armadura de segurança. Uma cópia autenticada do documento de homologação ou do certificado aprovado pela ADN e assinado por técnicos qualificados que representem o construtor, deverá ser apresentada aos comissários técnicos da prova.

Qualquer nova armadura de segurança homologada ou certificada por uma ADN e vendido a partir de 01.01.2003, deve ser identificável individualmente pela aposição pelo construtor de uma placa de identificação que não poderá ser copiada nem retirada (*ex.: encastrada, gravada, autocolante auto destrutível*). A placa de identificação deverá conter o nome do construtor, o número de homologação ou de certificação da ficha de homologação ou do certificado da ADN e o número de série único do construtor.

Um certificado contendo esses mesmos números deve estar a bordo da viatura e ser presente aos Comissários Técnicos da prova.

- c) Homologada pela FIA de acordo com o regulamento de homologação para armaduras de segurança. Ela deverá ser objecto de uma extensão (VO) da ficha de homologação da viatura homologada pela FIA.

Toadas as armaduras de segurança homologadas e vendidas a partir de 01.01.1997, devem ter visíveis a identificação do construtor e um número de série. A ficha de homologação deve precisar onde e como são indicadas essas informações e os compradores devem receber um certificado numerado correspondente.

Para as seguintes viaturas, a armadura de segurança deverá ser obrigatoriamente homologada pela FIA: Variante Kit Super 1600, Variante Kit Super 2000, Variante Kit Super 2000 Rali, Variante World Rally Car.

Qualquer modificação de uma armadura homologada ou certificada é proibida.

É considerada como modificação qualquer operação efectuada na armadura, por maquinaria, soldadura, que implique uma modificação permanente do material ou da estrutura da armadura.

Qualquer reparação de uma armadura de segurança homologada ou certificada, danificada como resultado de um acidente deverá ser efectuada pelo construtor da armadura ou com a sua aprovação.

Os tubos das armaduras de segurança não podem servir para veicular fluidos ou seja o que for.

As armaduras de segurança não devem dificultar a entrada e saída do piloto e do co-piloto.

Alguns elementos podem ocupar o espaço reservado aos pilotos quando atravessam o tablier, os forros ou os bancos traseiros. Os bancos traseiros podem ser rebatidos.

8.2 – Definições:

8.2.1 – Armação de segurança

Estrutura multitubular instalada no habitáculo o mais perto possível da coque e cuja função é a de limitar uma deformação significativa da coque (chassis) em caso de acidente.

8.2.2 – Arco de segurança

Estrutura tubular formando um arco, com dois pés de implantação.

8.2.3 – Arco Principal (desenho 253-1)

Arco tubular mono peça transversal e sensivelmente vertical (inclinação máxima +/- 10° em relação à vertical) situado transversalmente na viatura imediatamente atrás dos bancos dianteiros.

8.2.4 – Arco Dianteiro (desenho 253-1)

Idêntico ao arco principal, mas cuja forma segue os montantes do pára-brisas e o seu bordo superior.

8.2.5 – Arco Lateral (desenho 253-2)

Arco tubular mono peça, sensivelmente longitudinal e sensivelmente vertical situado do lado direito e do lado esquerdo da viatura, cujo montante dianteiro acompanha o montante do pára-brisas e o montante traseiro é sensivelmente vertical e situado imediatamente atrás dos bancos dianteiros.

8.2.6 – Semi-arco lateral (desenho 253-3)

Idêntico ao arco lateral, mas sem montante traseiro.

8.2.7 – Elemento longitudinal:

Tubo monopeça sensivelmente longitudinal que liga as partes superiores do arco dianteiro e do arco principal.

8.2.8 – Elemento transversal:

Tubo monopeça sensivelmente transversal que liga as partes superiores dos semi-arcos laterais ou dos arcos laterais.

8.2.9 – Elemento diagonal:

Tubo transversal que liga:

Um dos cantos superiores do arco principal, ou uma das extremidades do elemento transversal no caso de um arco lateral, ao pé de ancoramento inferior oposto do arco.

ou

A extremidade superior de um suporte traseiro ao pé de ancoragem inferior do outro suporte traseiro.

8.2.10 – Elemento removível:

Elementos de uma armadura que podem ser removidos.

8.2.11 – Reforços de Armadura:

Elementos acrescentados à armadura para lhe melhorar a resistência.

8.2.12 – Pé de ancoramento:

Placa soldada à extremidade de um tubo de um arco que permite que ela seja aparafusada e/ou soldada à coque / chassis, geralmente sobre uma placa de reforço.

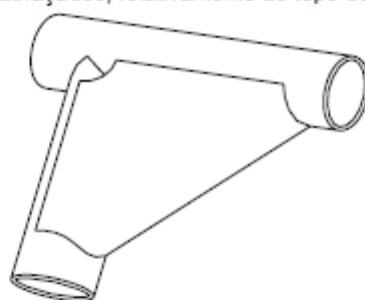
8.2.13 – Placa de reforço:

Placa metálica fixada à coque/chassis, sob um pé de ancoragem do arco, para melhor repartir as forças sobre a coque/chassis.

8.2.14 – Esquadro:

Reforço de canto ou de junção, em chapa dobrada em forma de U (desenho 253-34), cuja espessura não poderá ser inferior a 1,0 mm.

As extremidades destes reforços deverão estar situadas a uma distância entre 2 e 4 vezes o diâmetro do maior dos tubos abraçados, relativamente ao topo do ângulo de junção.



253-34

8.3 – Especificações

8.3.1 – Estrutura de base

A estrutura de base deverá ser composta por uma das seguintes formas:

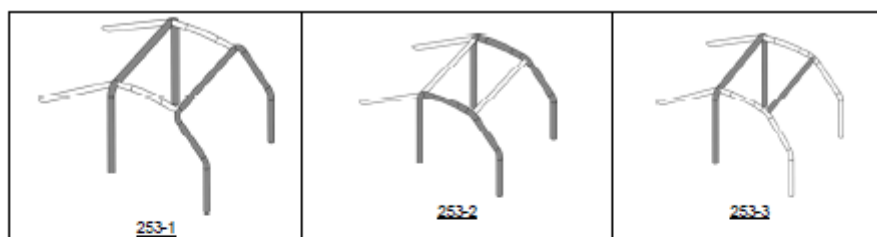
*1 arco principal + 1 arco dianteiro + 2 membros longitudinais + 2 membros de prolongamento traseiro + 6 pontos de fixação (desenho 253-1)

Ou

*2 arcos laterais + 2 membros longitudinais + 2 membros de prolongamento traseiro + 6 pontos de fixação (desenho 253-2)

Ou

*1 arco principal + 2 semi-arcos laterais + 1 membro transversal + 2 membros de prolongamento traseiro + 6 pontos de fixação (desenho 253-3)



A parte vertical do arco principal deverá estar tão perto do contorno interior da coque quanto possível e só pode comportar uma curva relativamente à sua parte inferior vertical.

O montante da frente de um arco dianteiro ou lateral deverá seguir o mais perto possível o contorno do pára-brisas e não conter senão uma curva relativamente à sua parte vertical inferior.

As conexões dos membros transversais aos arcos laterais, as conexões dos membros longitudinais aos arcos dianteiro e principal, bem como as conexões de um semi-arco lateral ao arco principal deverão situar-se ao nível do tejadilho.

Em qualquer caso não deverá haver mais de quatro conexões desmontáveis ao nível do tejadilho.

Os membros de prolongamento traseiro devem ser fixados junto ao tejadilho e perto dos ângulos superiores exteriores do arco principal, dos dois lados da viatura, e eventualmente com conexões desmontáveis.

Elas deverão formar um ângulo de pelo menos 30° com a vertical dirigir-se para trás e ser rectilíneas, ficando o mais perto possível dos painéis laterais interiores da coque.

8.3.2 – Concepção:

Uma vez a estrutura de base definida, ela deverá ser completada por elementos e reforços obrigatórios (ver artigo 253.8.3.2.1) aos quais podem ser acrescentados reforços facultativos (ver artigo 253.8.3.2.2).

Excepto se explicitamente autorizado e apenas caso se utilizem conexões desmontáveis como indica o Art. 253-8.3.2.4, todos os elementos e reforços tubulares devem ser monopeça.

8.3.2.1 – Elementos e reforços obrigatórios

8.3.2.1.1 – Elemento diagonal:

Viaturas homologadas até 01.01.2002:

A armadura deve comportar um dos elementos diagonais definidos nos desenhos 252-3, 253-4 e 253-5. A orientação da diagonal pode ser invertida.

No caso do desenho 253-6, a distancia entre as duas fixações à coque não deverá ser superior a 300mm.

Esses elementos devem ser rectilíneos e podem ser desmontáveis.

A extremidade superior da diagonal deve encontrar o arco principal a menos de 100mm da sua junção com os prolongamentos traseiros, ou os prolongamentos traseiros a menos de 100mm da junção com o arco principal. (ver desenho 253-52 para a medida)

A extremidade inferior da diagonal deve encontrar o arco principal a menos de 100mm do seu pé de fixação (excepto no caso do desenho 253-6).

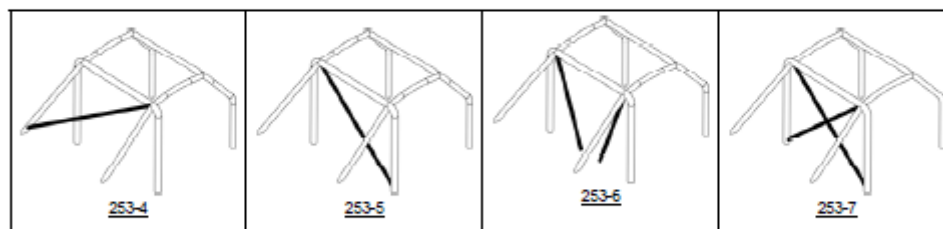
Viaturas homologadas após 01.01.2002.

A armadura deve comportar dois elementos diagonais no arco principal conforme o desenho 253-7.

Esses elementos devem ser rectilíneos e podem ser desmontáveis.

A extremidade inferior da diagonal deve encontrar o arco principal a menos de 100mm do seu pé de fixação (ver desenho 253-52 para a medida).

A extremidade superior da diagonal deve encontrar o arco principal a menos de 100mm da sua junção com os prolongamentos traseiros



8.3.2.1.2 – Elementos das portas

Um ou mais elementos longitudinais devem ser montados de cada lado da viatura, de acordo com os desenhos 253-8, 253-9, 253-10 e 253-11 (253-9, 253-10, 253-11 para as viaturas homologadas após 01.01.2007).

Os desenhos podem ser combinados entre si.

A concepção deve ser simétrica em ambos os lados.

Esses elementos podem ser desmontáveis.

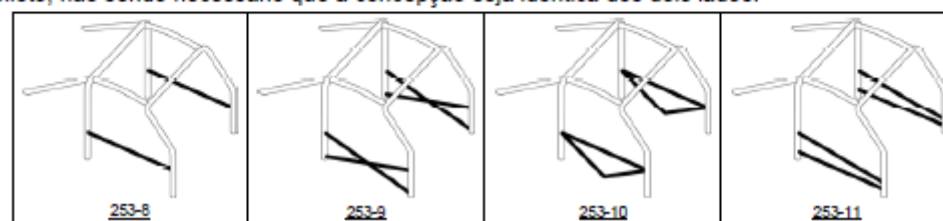
A protecção lateral deverá ser tão alta quanto possível, mas o seu ponto de fixação superior não deve ultrapassar a metade da altura da abertura da porta, quando medida desde a sua base.

Caso os pontos de ancoragem superiores se situem adiante ou atrás da abertura de porta, estas limitações da altura, são válidas para a zona da intersecção da barra com a abertura de porta.

No caso de uma protecção em "X" (desenho 253-9), recomenda-se que os pontos de ancoragem inferiores das barras sejam fixados directamente à barra longitudinal e que pelo menos um dos elementos do "X" seja uma peça inteiriça.

A conexão dos reforços das portas ao montante dos reforços de pára-brisas é autorizada (conforme desenho 253-15)

Para as competições sem co-piloto, as barras podem ser montadas unicamente do lado do piloto, não sendo necessário que a concepção seja idêntica dos dois lados.



8.3.2.1.3 – Reforço de tejadilho

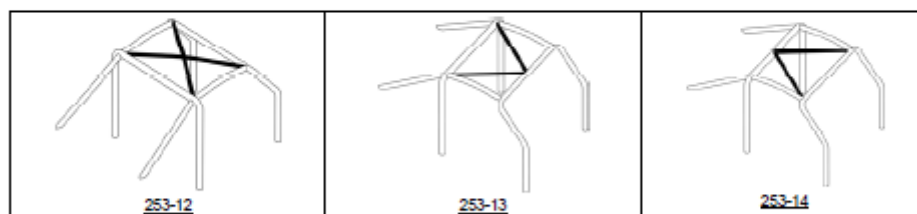
Unicamente para as viaturas homologadas após 01.01.2005

A parte superior da armadura de segurança deve estar conforme a um dos desenhos 253-12, 253-13 ou 253-14.

Estes reforços podem seguir a curvatura do tejadilho.

Para as competições com um piloto apenas, pode ser utilizada uma travessa única (conforme desenho 253-12), mas a sua ligação dianteira será obrigatoriamente do lado do piloto.

As extremidades dos reforços devem ficar a menos de 100mm das junções do arco principal com os outros elementos, excepto no caso do vértice do "V" (desenhos 253-13 e 253-14).



8.3.2.1.4 – Reforço do montante do pára-brisas:

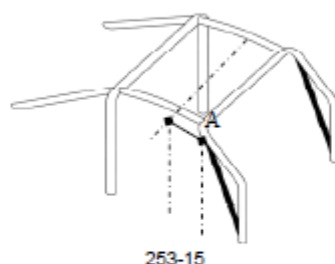
Apenas para as viaturas homologadas após 01.01.2006

Deverá ser montado de cada lado do arco dianteiro, no caso da dimensão "A" ser superior a 200mm (desenho 253-15).

Ele pode ser curvo, mas deverá ser rectilíneo quando visto lateralmente, e que o ângulo da sua curva não seja superior a 20°.

A sua junção superior deverá ficar a menos de 100mm da junção entre o arco dianteiro (lateral) e o elemento longitudinal (transversal) (ver desenho 253-52 para a medida).

A sua extremidade inferior deverá situar-se a menos de 100mm do pé de fixação (da frente) do arco dianteiro (lateral).



8.3.2.1.5 – Reforços de ângulos e junções

Os reforços entre:

- Os elementos diagonais do arco principal
- Reforços de tejadilho (configuração do desenho 253-12 e unicamente para as viaturas homologadas após 01.01.2007)
- Os reforços de porta (configuração do desenho 253-9)

- Os reforços de porta e reforços do montante do pára-brisas (desenho 253-15) devem ser reforçados pelo menos por dois esquadros de acordo com o artigo 253-8.2.14.
- Caso os reforços de porta e o do montante do pára-brisas não se situem no mesmo plano, podem ser reforçados por placas metálicas soldadas desde que respeitem as dimensões indicadas no artigo 253-8.2.14.

8.3.2.2 – Elementos e reforços facultativos

Excepto as outras indicações dadas no artigo 253-8.3.2.1 os elementos representados nos desenhos 253-12 até 253-21 e 253-23 até 253-33 são facultativos e podem ser instalados à vontade do construtor.

Deverão ser soldados ou instalados com conexões amovíveis.

Todos os reforços acima mencionados podem ser utilizados separadamente ou combinados entre si.

8.3.2.2.1 – Reforços de tejadilho (desenhos 253-12 até 253-14)

Apenas facultativos para as viaturas homologadas até 01.01.2005.

Para as competições sem co-piloto, e apenas no caso do desenho 253-12, um só elemento diagonal pode ser utilizado, mas a sua conexão dianteira deverá ser do lado do piloto.

8.3.2.2.2 – Reforço de montante do pára-brisas (Desenho 253-15)

Apenas facultativos para as viaturas homologadas até 01.01.2006.

Ele pode ser curvo, mas deverá ser rectilíneo quando visto lateralmente, e que o ângulo da sua curva não seja superior a 20°.

8.3.2.2.3 – Diagonais de prolongamentos longitudinais traseiros (Desenho 253-21)

A configuração do desenho 253-21 pode ser substituída pela do desenho 253-22, caso se utilize um reforço de tejadilho conforme desenho 253-14.

8.3.2.2.4 – Pontos de ancoragem da suspensão dianteira (Desenho 253-25)

As extensões deverão estar fixadas aos pontos de ancoragem superior da suspensão dianteira.

8.3.2.2.5 – Elementos transversais (Desenhos 253-26 até 253-30)

Os elementos transversais que integram o arco principal ou os prolongamentos traseiros podem ser utilizados para montar os cintos de segurança conforme Artigo 253-6.2 (a utilização das conexões desmontáveis é proibida).

Para os elementos representados nos desenhos 253-26 e 253-27 o ângulo entre o elemento central e a vertical deverá ser pelo menos de 30°.

O elemento transversal fixado ao arco dianteiro, não deverá estorvar o espaço reservado aos ocupantes.

Ele pode ser colocado o mais alto possível, mas o seu bordo inferior não poderá ultrapassar o ponto mais alto do tablier.

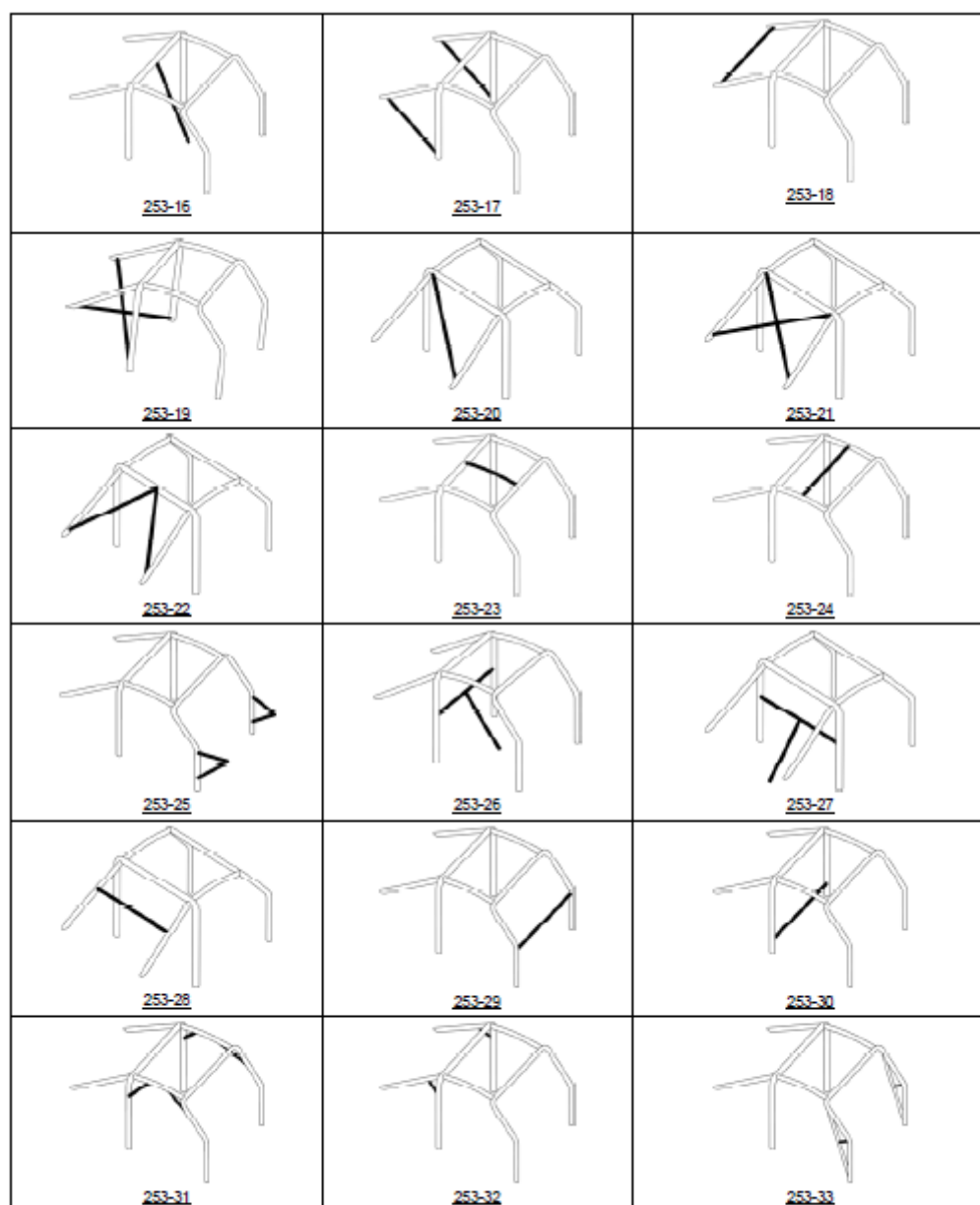
Para as viaturas homologadas após 01.01.2007, ele não poderá situar-se abaixo da coluna de direcção.

8.3.2.2.6 – Reforços de ângulos ou de junções (Desenhos 253-31 até 253-34)

Os reforços devem ser constituídos por tubos ou por chapas dobradas em "U" conforme o artigo 253-8.2.14.

A espessura dos elementos que compõem um reforço não deverá ser inferiores a 1,0 mm.

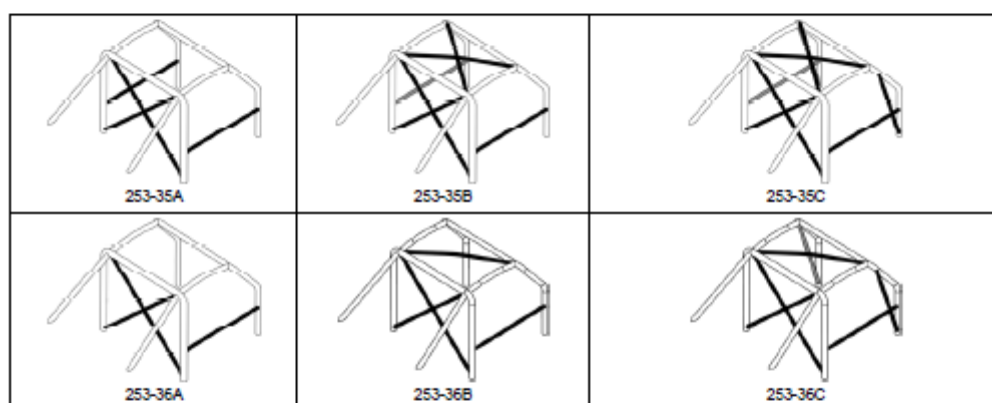
A extremidade dos reforços tubulares não se devem localizar nem mais baixo nem mais longe do que o meio dos elementos a que são fixados, excepto os que dizem respeito à junção do arco dianteiro que podem ir até à junção do elemento vertical /reforço de porta.



8.3.2.3 – Configuração mínima da armadura de segurança: A configuração mínima de uma armadura de segurança é definida da seguinte maneira:

Viaturas Homologadas	Com co-piloto	Sem co-piloto
entre 01/01/2002 e 31/12/2004	Desenho 253-35A	Desenho 253-36A ou simétrico
entre 01/01/2005 e 31/12/2005	Desenho 253-35B	Desenho 253-36B ou simétrico
Após 01/01/2006	Desenho 253-35C	Desenho 253-36C ou simétrico

Os elementos de porta e os reforços de tejadilho podem ser diferentes, conforme dito nos Artigos 253 - 8.3.2.1.2 e 253 - 8.3.2.1.3.



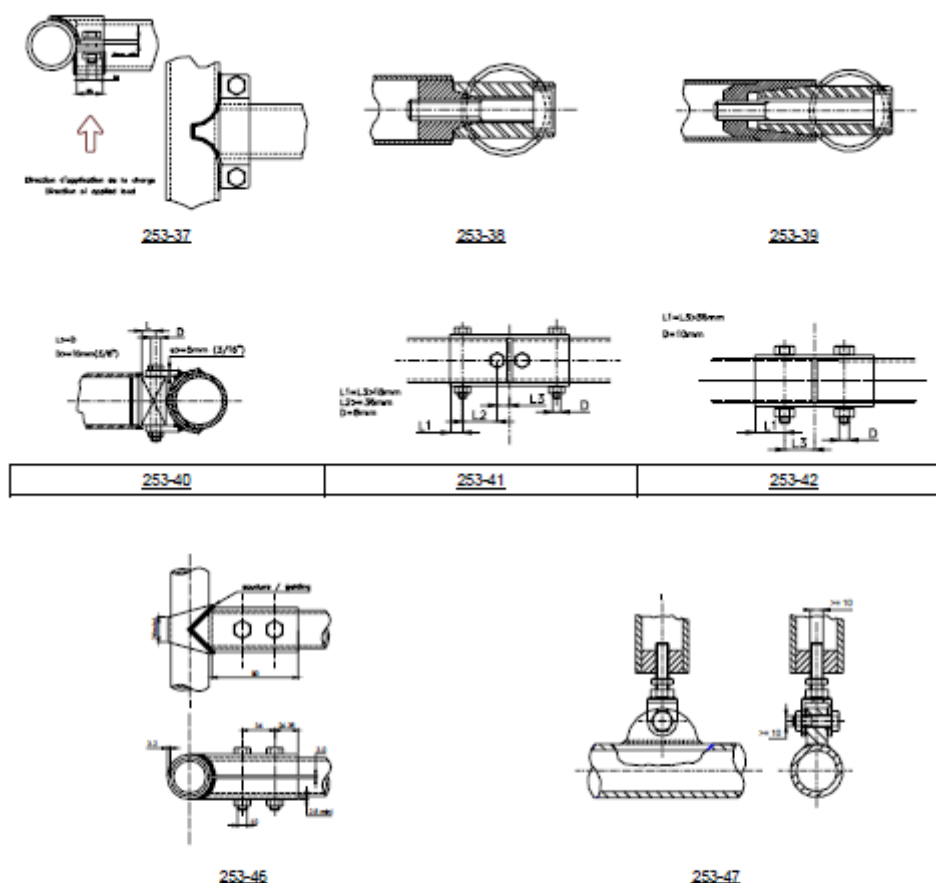
8.3.2.4 – Elementos amovíveis:

Caso se utilizem elementos amovíveis na construção da armadura de segurança, as conexões desmontáveis devem ser conformes a um tipo aprovado pela FIA (desenhos 253-37 até 253-47).

Após a montagem, não podem ser soldadas.

As porcas e parafusos deverão ser de qualidade mínima 8.8 (Norma ISO).

As conexões desmontáveis conforme os desenhos 253-37, 253-40, 253-43, 253-46 e 253-47 estão reservadas à aplicação de elementos e reforços facultativos descritos no artigo 253-8.3.2.2, e são proibidas para fazer a ligação das partes superiores do arco principal, do arco dianteiro, dos arcos laterais e dos semi-arcos laterais.



8.3.2.5 – Obrigações suplementares:

As armaduras de segurança completas devem estar situadas, longitudinalmente, entre os pontos de ancoramento dianteiro e traseiro dos elementos de suspensão que suportam as cargas verticais (molas e amortecedores).

São autorizados os reforços suplementares que ultrapassem estes limites, entre a armadura de segurança e os pontos de ancoragem da barra de anti-torsão traseira.

Cada um destes pontos poderá ser ligado à armadura de segurança por um tubo único com 30x1,5mm.

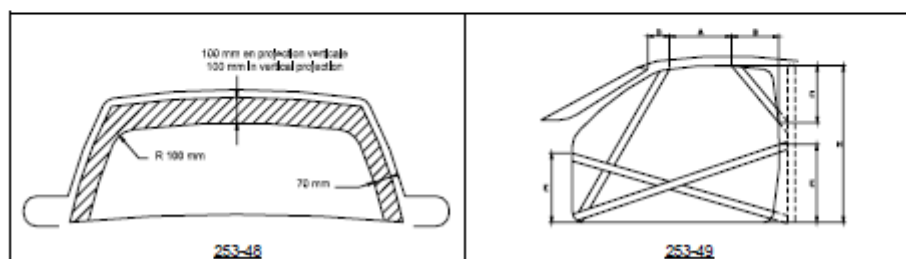
Para as viaturas homologadas após 01.01.2002:

Em projecção frontal, os reforços de ângulo e de junção dos ângulos superiores do arco dianteiro, devem ser unicamente visíveis através da superfície do pára-brisas descrita no desenho 253-48.

Para todas as armaduras de segurança das viaturas de "Super produção" e Super 2000" homologadas após 01.01.2000 e para todas as armaduras de segurança das viaturas de Rali homologadas após 01.01.2001:

A presença de elementos da armadura de segurança presentes dentro do perímetro da abertura da porta, deverão obedecer aos seguintes critérios (desenho 253-49):

- A dimensão "A" deverá ser de, no mínimo, 300mm
- A dimensão "B" deverá ser de, no máximo, 250mm
- A dimensão "C" deverá ser de, no máximo, 300mm
- A dimensão "D" medida a partir do bordo superior do pára-brisas, sem a junta, deverá ser de, no máximo, 100mm
- A dimensão "E" não deverá ser maior do que metade da altura da porta (H).



8.3.2.6 – Fixação das armaduras de segurança à coque / chassis:

Os pontos de fixação mínimos são:

- Um para cada montante do arco principal
- Um para cada montante do arco dianteiro
- Um para cada montante do arco lateral ou semi-arcs laterais
- Um para cada montante dos prolongamentos traseiros

Para obter uma fixação eficaz à coque / chassis, os forros interiores de origem podem ser modificados junto à fixação dos arcos, por corte ou deformação.

Esta modificação não permitirá desmontar peças inteiras dos forros ou revestimentos.

Caso necessário, a caixa dos fusíveis pode ser deslocada para permitir a montagem da armadura de segurança.

Pontos de fixação do arco principal, arco dianteiro e dos arcos laterais ou semi-arcs laterais:

Cada ponto de fixação (ancoragem) deverá incluir uma placa de reforço de pelo menos 3 mm de espessura.

Cada ponto de fixação (pé) deverá ser fixado por pelo menos três parafusos a uma placa de reforço em aço, soldada à coque, com uma espessura mínima de 3 mm e uma superfície mínima de 120 cm².

Para as viaturas homologadas após 01.01.2007, a superfície de 120 cm² deverá ser a superfície de contacto entre a placa de reforço e a coque.

Exemplos de acordo com os desenhos 253-50 até 253-56.

Para o desenho 253-52 a placa de reforço não tem necessariamente que estar soldada à coque.

Para o caso do desenho 253-54, os lados do ponto de ancoramento podem ser fechados por uma placa soldada.

Os parafusos de fixação deverão ter pelo menos o diâmetro M8 e uma qualidade mínima 8.8 (Norma ISO).

As porcas deverão ser autoblocantes ou ter anilhas de pressão.

Obrigatório desde de 01.01.2010:

O ângulo entre dois parafusos (medido em relação ao eixo do tubo ao nível da base) não deverá ser inferior a 60° conforme desenho 253-50)

Pontos de fixação dos prolongamentos traseiros:

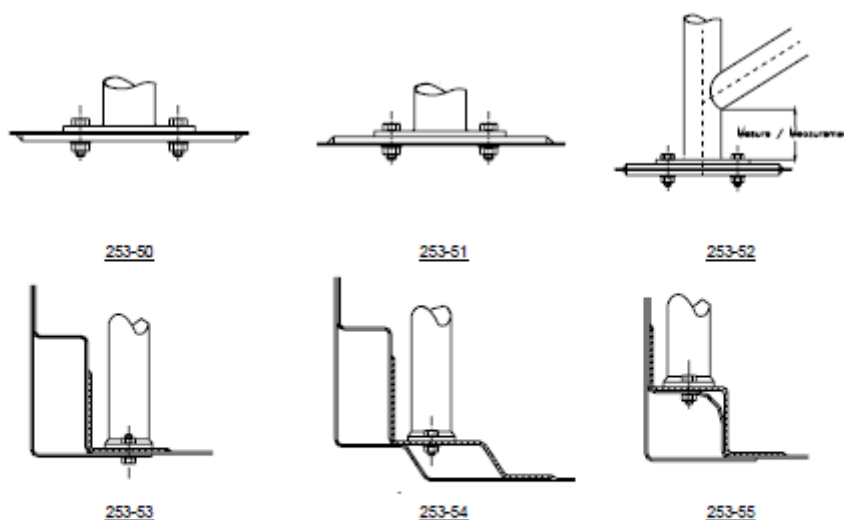
Cada prolongamento traseiro deverá ser fixado por pelo menos dois parafusos de qualidade M8 com pés de ancoragem com uma superfície de pelo menos 60 cm² (desenho 253-57), ou fixado por um parafuso em duplo esforço (desenho 253-58) desde que a sua secção seja adequada e que um casquilho seja soldado ao tubo do prolongamento traseiro.

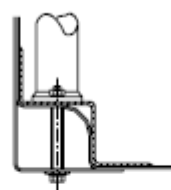
Estas exigências são mínimas

Para além disto, podem utilizar-se fixações suplementares, as placas de apoio aos pés de arco podem ser soldadas às placas de reforço, a armadura de segurança (tal como definida no artigo 253-8.3.1) pode ser soldada à coque / chassis.

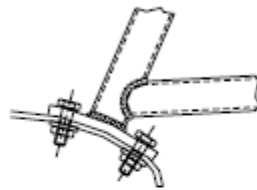
Caso particular

Para as coque / chassis de outro material que o aço, qualquer soldadura é proibida entre a armadura e a coque / chassis, sendo apenas autorizada a colagem entre a placa de reforço e a coque / chassis.





253-56



253-57



253-58

8.3.3 — Especificação dos materiais

Apenas serão aceitáveis os tubos de secção circular. Especificação dos tubos a utilizar:

Material	Resistência mínima à tração	Dimensões Mínimas (mm)	Utilização
Aço carbono não de liga (ver abaixo) estrado a frio sem costura contendo no máximo 0,3 % de carbono	350 N/mm ²	45 x 2,5 (1.75"x0.095") ou 50 x 2,0 (2.0"x0.083")	Arco principal ou (Desenhos 253-1 e 252-3) Arcos laterais e Elementos transversais traseiros (Desenho 253-2) Conforme a construção.
		38 x 2,5 (1.5"x0.095") ou 40 x 2,0 (1.6"x0.083")	Semi-arcos laterais e outros elementos da armadura de segurança (Salvo indicações contrárias noutros artigos abaixo)

Nota: Para um aço não de liga, o teor máximo dos elementos acrescentados será de 1,7% para o manganésio e de 0,6% para os outros elementos.

Quando se escolhe o aço, deverá ter-se atenção em obter boas qualidades de alongamento e uma correcta aptidão para a soldadura.

Os tubos deverão ser dobrados a frio, com um raio de curvatura medido relativamente ao eixo, de pelo menos três vezes o seu diâmetro.

Caso o tubo fique ovalizado após esta operação, a relação entre o diâmetro maior e o menor deverá ser de pelo menos 0,9.

A superfície ao nível das curvas deverá ser lisa e uniforme, e desprovida de ondulações ou fissuras.

8.3.4 — Indicações para a soldadura:

A soldadura deverá ser feita em todo o perímetro de contacto dos tubos.

Todas as soldaduras deverão ser da melhor qualidade possível e de uma penetração total (de preferência soldadura sob protecção de gás).

Ainda que uma boa aparência exterior não seja necessariamente uma garantia de qualidade das soldaduras, as soldaduras com mau aspecto nunca são sinal de um bom trabalho.

Quando se utilizam aços tratados termicamente, as indicações especiais dos fabricantes deverão ser respeitadas (electrodos especiais e soldadura sob gás protector).

8.3.5 — Forros de protecção.

Nos locais onde o corpo dos ocupantes possa contactar a armadura de segurança, devem ser colocadas protecções não inflamáveis.

Nos locais onde o capacete dos ocupantes possa contactar com a armadura de segurança, o forro deverá corresponder à Norma FIA 8857-2001 tipo A (ver lista técnica n.º 23 " Forros homologados pela FIA para arcos de segurança") e estar fixado à armadura de forma permanente.

Aplicação: Para todas as categorias

ARTIGO 9 – RETROVISÃO

A visão para a retaguarda deve ser assegurada por dois retrovisores exteriores (um à esquerda e outro à direita da viatura). Podem ser utilizados os retrovisores de série. Cada retrovisor deve ter uma superfície reflectora de pelo menos 90 cm². O retrovisor interior é facultativo.

Aplicação: obrigatória para os grupos N, Super 2000 Rali, A, R e B. Para Super Produção e ST ver o regulamento específico.

Um recorte no corpo do retrovisor (com a superfície máxima de 25cm² por cada retrovisor) é no entanto autorizado para a ventilação do habitáculo.

Aplicação: apenas em Rali, para os Grupos N, R, Super 2000 Rali e A.

ARTIGO 10 – ANEL DE REBOQUE

Deverá ser montado um anel de reboque à frente e outro atrás, para todas as provas. Este anel só será utilizado no caso de um automóvel que role livremente.

Este anel deverá estar claramente visível e pintado de amarelo, vermelho ou laranja.

ARTIGO 11 – PÁRA-BRISAS / REDES

Vidros

Os vidros devem ser certificados para utilização rodoviária, fazendo fé a respectiva marcação.

Para as viaturas de 4 e 5 portas, uma peça intermédia pode ser montada entre a parte superior do vidro e a parte inferior do caixilho superior do vidro da porta traseira, desde que a sua única função seja a de proporcionar ventilação do habitáculo e não ultrapasse o perímetro da viatura.

É obrigatório o pára-brisas constituído por vidro de segurança laminado.

Ele poderá estar equipado com uma ou mais películas transparentes (espessura total máxima de 400 microns) e incolores sobre a superfície exterior, excepto se isso for proibido pela regulamentação estradal do ou dos países atravessados pelo percurso da prova

Uma banda pára-sol é autorizada para o pára-brisas, desde que permita aos ocupantes ver a sinalização rodoviária (sinais de trânsito, semáforos, etc.).

A utilização de vidros escurecidos ou de películas de segurança é autorizada para os vidros laterais e traseiros. Nesse caso, uma pessoa situada a 5 metros da viatura, deve poder ver o piloto e o que se encontrar no interior da viatura.

Em Ralis apenas:

A aplicação de películas anti-deflagrantes, transparentes e incolores nos vidros laterais e vidro do tecto de abrir é obrigatória, se eles não forem laminados ou se não estiverem neles aplicadas películas prateadas ou de cor. A espessura de tais películas não deverá ser superior a 100 microns.

A utilização de películas prateadas ou fumadas só é autorizada em Ralis, sobre os vidros laterais, o vidro do tecto de abrir e o vidro traseiro, na condição de que:

- Aberturas praticadas sobre tais películas permitam que do exterior, possam ser vistos os pilotos bem como o interior da viatura.
- Que o regulamento particular da prova mencione autorização para tal aplicação.

Aplicação: obrigatória para os grupos N, A e B. Para Super Produção ver o regulamento específico.

Redes

Para as provas em circuito, a utilização de redes fixadas à armadura de segurança é obrigatória.

Estas redes devem ter as características seguintes:

- Largura mínima de cinta: 19 mm
- Dimensão mínima das aberturas: 25 x 25 mm
- Dimensão máxima das aberturas: 60 x 60 mm

e tapar a abertura da janela até ao centro do volante.

ARTIGO 12 – FIXAÇÕES DE SEGURANÇA PARA O PÁRA-BRISAS

Estas fixações podem ser utilizadas livremente.

Aplicação: Grupos N, A e B

ARTIGO 13 – CORTA-CIRCUITOS

O corta-circuitos geral deve desligar todos os circuitos eléctricos (bateria, alternador ou dínamo, luzes, avisadores, ignição, acessórios eléctricos, etc.) e deve igualmente parar o motor.

Para os motores DIESEL que não disponham de injectores com controlo electrónico, o corta-circuitos deverá estar acoplado a um sistema que impeça o abastecimento de ar ao motor.

Deve ser de modelo anti-deflagrante e poder ser manobrado quer do interior quer do exterior do automóvel.

No que respeita ao exterior, o comando do corta-circuitos estará obrigatoriamente no sopé de um dos montantes do pára-brisas, para os automóveis fechados.

Deve estar visivelmente assinalado por meio de um raio vermelho colocado num triângulo azul debruado a branco com, pelo menos, 12 cm de base.

Este comando exterior só diz respeito às viaturas fechadas.

Aplicação: montagem obrigatória para todos os automóveis em prova de circuitos ou rampas. Montagem recomendada para outros tipos de provas.

ARTIGO 14 – DEPÓSITOS DE SEGURANÇA APROVADOS PELA FIA

Quando um concorrente utiliza um depósito de segurança, este deve provir de um fabricante reconhecido pela FIA. Para obter o reconhecimento da FIA, os construtores deverão provar a manutenção da qualidade do seu produto e a sua conformidade com as especificações aprovadas pela FIA.

Os construtores de reservatórios aprovados pela FIA comprometem-se a apenas fornecer aos seus clientes os reservatórios correspondentes às normas aprovadas.

Deste modo, em cada reservatório fornecido deverá estar marcado o nome do construtor, as especificações precisas pelas quais esse reservatório foi construído, o número de homologação, a data de fim de validade e o número de série.

A marcação deve ser feita com tinta indelével e com um formato antecipadamente aprovado pela FIA de acordo com os standards aplicáveis.

14.1 – Especificações técnicas:

A FIA reserva-se o direito de aprovar qualquer outro conjunto de especificações técnicas após o estudo de documentação fornecida pelo ou pelos fabricantes interessados.

14.2 – Especificações FIA FT3 1999, FT3.5 ou FT5:

As especificações técnicas destes depósitos estão disponíveis junto do Secretariado da FIA, contra simples pedido.

14.3 – Envelhecimento dos depósitos de segurança

O envelhecimento dos depósitos flexíveis implica, além de 5 anos, uma diminuição notável das suas propriedades físicas.

Por consequência, todo o depósito deve ser substituído por um novo, o mais tardar 5 anos depois da data de fabrico indicada no depósito, a não ser que tenha sido verificado e recertificado pelo seu construtor, por um período não superior a 2 anos.

Uma janela estanque em material não inflamável, facilmente acessível e desmontável apenas com ferramentas deverá estar presente para proteger os reservatórios FT3 1999, FT3.5 ou FT5 para permitir a verificação da data de fim de validade

14.4 – Aplicações destas especificações

As viaturas de Produção (Grupo N), de Turismo (Grupo A) e de Grande Turismo (Grupo B) podem ser equipadas com depósitos de segurança FT3 1999, FT3.5 ou FT5 desde que as modificações necessárias para a sua montagem não ultrapassem as permitidas pelo regulamento.

A utilização de espuma de segurança nos reservatórios FT3 1999, FT3.5 ou FT5 é recomendada.

14.5 – Reservatório com tubo de enchimento, Grupos A e N

Todas as viaturas equipadas com um reservatório com tubo de enchimento que atravesse o habitáculo deverão montar uma válvula anti-retorno homologada pela FIA.

Esta válvula, do tipo "1 ou 2 batentes" deverá ser instalada no tubo de enchimento, do lado do reservatório.

O tubo de enchimento é a peça que liga o bocal externo ao reservatório propriamente dito.

ARTIGO 15 – PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Um painel de protecção eficaz deve ser instalado entre o motor e o banco dos ocupantes para evitar a projecção directa de chamas em caso de incêndio.

No caso onde este painel seja constituído pelas costas dos bancos traseiros, aconselha-se o revestimento com material ignífugo.

ARTIGO 16 – BANCOS, FIXAÇÃO E SUPORTE DOS BANCOS

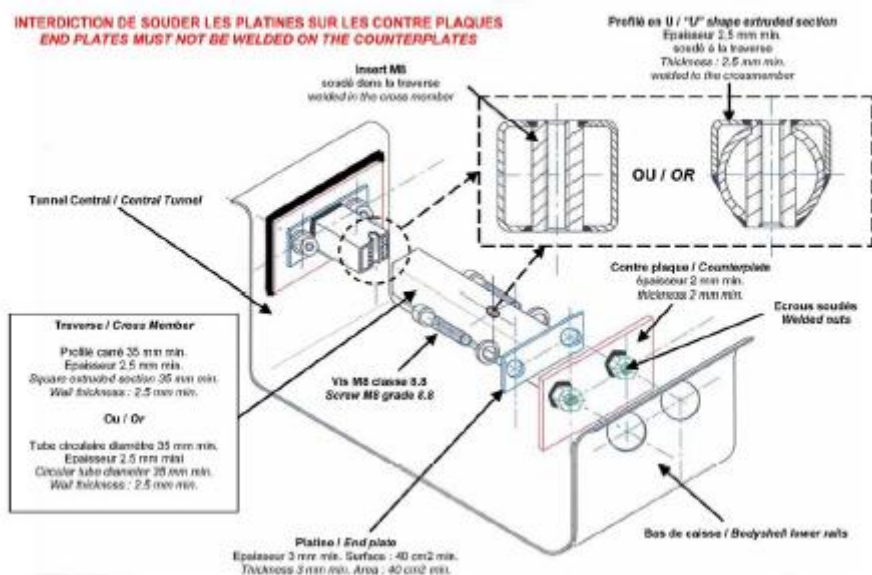
Se as fixações ou os suportes de origem são modificados, as novas peças devem ter sido produzidas por um fabricante aprovado pela FIA ou estar de acordo com as especificações seguintes:

1) Ancoragens para os suportes de fixação dos bancos:

Os suportes dos bancos devem ser fixados, seja:

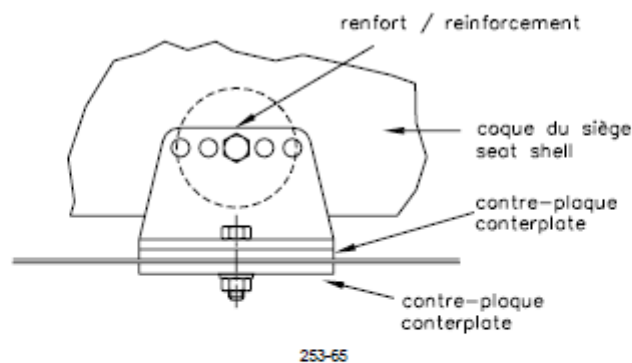
- Nos pontos de fixação dos bancos previstos na viatura original
- Nos pontos de fixação Homologados pelo construtor em Variante-opção (neste caso os pontos originais podem ser suprimidos)
- Nos pontos de fixação que estejam conforme o desenho 253-65B

Os suportes dos bancos deverão ser fixados às ancoragens para fixação dos bancos, com um mínimo de quatro pontos e quatro parafusos de 8 mm de diâmetro mínimo.



INSTRUÇÕES DE MONTAGEM

- 1 — Furar as partes laterais do túnel da transmissão e lateral do piso (diâmetro superior à cabeça das porcas)
 - 2 — Soldar as porcas às placas de reforço e depois soldar estas às partes laterais.
 - 3 — Soldar os casquilhos no interior das travessas e depois soldar as chapas de topo das travessas.
 - 4 — Aparafusar o conjunto de 4 parafusos M8 classe 8.8 às porcas soldadas às placas de reforço lateral
- 2) As fixações sobre a coque/chassis devem ser no mínimo de quatro por banco, utilizando parafusos de 8 mm de diâmetro mínimo com contra placas de acordo com o desenho 253-65.
- A superfície mínima de contacto entre suporte, coque/chassis e placa de reforço é de 40 cm² por cada ponto de fixação.



3) Se forem utilizados sistemas de abertura rápida, estes devem poder resistir a forças horizontais e/ou verticais de 18000 N, não aplicadas simultaneamente. Se forem utilizadas calhas para acerto do banco, aquelas devem ser as fornecidas com a viatura de origem ou com o banco.

4) A fixação entre o banco e os suportes deve ser composta por 4 fixações, duas à frente e duas na parte traseira do banco, utilizando parafusos com o diâmetro mínimo de 8 mm e reforços integrados no próprio banco. Cada fixação deve poder resistir a uma carga de 15000 N em qualquer direcção.

5) A espessura mínima dos suportes e das placas de reforço (contra placas) é de 3 mm para o aço e de 5 mm para os materiais em ligas leves. A dimensão longitudinal mínima de cada suporte é de 6 cm.

6) No caso de utilização de uma almofada entre o banco homologado e o piloto, tal almofada apenas poderá ter uma espessura máxima de 50 mm.

Todos os bancos dos ocupantes devem ser homologados pela FIA (norma 8855/99 ou 8862/2009) e não modificados.

Para os bancos fabricados de acordo com a Norma FIA 8855/1999, o limite de utilização é de 5 anos, a partir da data de fabrico mencionada na etiqueta obrigatória.

Uma extensão de 2 anos pode ser concedida pelo fabricante, e referida numa etiqueta suplementar.

Para os bancos fabricados de acordo com a norma FIA 8862/2009, o limite de utilização é de 10 anos após a data de fabrico.

Unicamente para Ralis, os bancos correspondentes à norma 8862/2009 podem ser utilizados com suportes homologados pelos construtores de automóveis em variante opção

ARTIGO 17 – VÁLVULAS DE SOBREPRESSÃO

As válvulas de sobrepressão são interditas nas rodas.

ANEXO B: Certificado de qualidade do material

258588531 # 1/2

AMISO QUALITY CERTIFICATE EN-10204/3.1.B MILL TEST CERTIFICATE/REPORT

AMISO - Qualidade e Transformação de Autocarros de Competição, Lda.
Rua Dr. Raul Castro Fernandes, Anjo N.º 17 4700-721 Viana do Castelo
Tel/Fax: +351 252 850 134 - www.amiso.com

CLIENTE ~~SECRETARIA DE DEFESA~~
CUSTOMER

REF. CLIENTE 9800000934 REF. FABRICA 989028 ITEM NO. 003
ORDER NO. 5 WORKS NO. ITEM NO.

MATERIAL (NORMA) ST 37.0 SEGUN DIN 1629 CALIENTE EDICION 84
MATERIAL (SPECIFICATION) ACCORDING TO EDITION

PRODUCTO SEAMLESS TUBE HOT FINISHED PROCESO DE FUSION E.F. (R)
ARTICLE MELTING PROCESS

DESIGNACION DE LA CALIDAD J.0254 PUNZON DEL INSPECTOR
GRADE NO. INSPECTOR'S STAMP

DISTINTIVO
MARKING

COND. INPUETAS
REQUIREMENTS

DIMENSIONES 48,3 X 2,6 MM LONGITUD 6.000 / 7.000 PESO BRUTO 4.580
DIMENSIONS LENGTH IN MTS. GROSS WEIGHT IN KGS

TUBOS 249 METROS 1.490,65 PESO NETO 4.570
TUBES METERS NET WEIGHT IN KGS

CONTROL VISUAL Y DIMENSIONAL 100% O.K. PRUEBA HIDRAULICA -
VISUAL INSPECTION AND DIMENSIONAL CHECK HYDROSTATIC TEST

ENSAYOS : TENSION; RING EXPANDING O.K;
TEST :

ENSAYO DE CORRIENTES INDUCIDAS 100 % O.K. TRATAMIENTO TERMICO
EDDY CURRENT TEST HEAT TREATMENT

DISPERSION DE FLUJO - ENSAYO DE MEZCLA -
FLUX LEAKAGE TEST MIX TEST

ENSAYO DE ULTRASONIDOS - ENSAYO ATAQUE ACIDO -
ULTRASONIC TEST ETCHING TEST

RESULTADOS DE LA INSPECCION: SE HAN CUMPLIDO LAS CONDICIONES INPUETAS.
RESULT OF THE INSPECTION: THE SPECIFIED REQUIREMENTS WERE COMPLIED.

TUBOS REUNIDOS, S.A.
CONTROL DE CALIDAD
AMISO - ALAVA
Handwritten Signature

AMISO - Qualidade e Transformação de Autocarros de Competição, Lda. - Carimbo nº 507 545 957

ANEXO D: Página do artigo 253 do anexo “J” *Technique* referente aos ensaios de carga estática.

Article 253 issu de l'Annexe J FIA 2006

- Une ou des entretoises longitudinales doivent être montées de chaque côté du véhicule (voir dessins 253-8, 253-12, 253-17).
- Si la cote "A" (voir dessin 253-4) est supérieure à 200 mm, une entretoise de renfort conforme au dessin 253-17B doit être ajoutée de chaque côté de l'arceau avant, entre l'angle supérieur du pare-brise et la base de l'arceau.

Ce renfort peut être coudé à condition qu'il soit rectiligne en vue de côté et que l'angle du coude ne dépasse pas 20°.

- L'angle "alpha" (voir dessin 253-4) ne doit pas être supérieur à 90°.

8.4.2. Structures dont les matériaux respectent l'Art. 8.3 :

Si l'armature de sécurité de base, telle qu'indiquée au dessin 253-4, est fabriquée à partir de matériaux conformes aux exigences de l'article 8.3, l'ASN peut l'homologuer sans exiger d'essai de charge statique **ou de preuve arithmétique**.

8.4.3. Essais de charge statique :

Les armatures ne respectant pas toutes les prescriptions de dimension de l'article 8.4.2 doivent être soumises aux essais de charge statique décrits par les articles 8.4.3.1 et 8.4.3.2, ou 8.4.3.3. Ces essais doivent être effectués par un institut approuvé par la FIA.

a) Armature à considérer :

Etant donné qu'une cage ne doit être considérée que dans son ensemble, l'essai doit être réalisé sur le dispositif complet.

b) Dispositif de test :

Il doit être construit de façon qu'aucune charge n'ait d'effet sur sa structure.

c) Fixations :

La cage doit être adaptée directement ou au moyen d'un montage additionnel au dispositif de test par ses fixations d'origine principales (voir dessin 253-4) sur un maximum de 8 points.

8.4.3.1. Essai sur l'arceau principal (voir dessin 253-38) :

L'arceau complet doit résister à une charge verticale de 7.5p daN (p étant le poids de la voiture +150 kg) appliquée au sommet de l'arceau principal par un tampon rigide.

Le tampon doit être en acier, avoir un rayon de 20 mm +/- 5 mm sur les bords situés du côté de l'arceau et avoir les dimensions suivantes :

- Longueur = largeur de l'arceau principal + 100 mm minimum
- Largeur = 250 mm +/- 50 mm
- Epaisseur = 40 mm minimum.

Le tampon peut épouser le profil transversal de l'arceau principal.

La charge doit être appliquée en moins de 15 secondes.

Sur l'ensemble de la structure de sécurité, l'essai ne doit produire ni rupture ni déformation supérieure à 50 mm, mesurée **sous charge** suivant l'axe d'application de la charge.

8.4.3.2. Essai sur l'arceau avant (voir dessin 253-38B) :

L'arceau complet doit résister à une charge de 3.5p daN (p étant le poids de la voiture +150 kg) appliquée au sommet de l'arceau avant par un tampon rigide, du côté du pilote et à l'intersection avec l'entretoise transversale avant.

Le tampon doit être en acier, avoir un rayon de 20 mm +/- 5 mm sur les bords situés du côté de l'arceau et avoir les dimensions suivantes :

- Longueur = 450 mm +/- 50 mm
- Largeur = 250 mm +/- 50 mm
- Epaisseur = 40 mm minimum.

Il doit être conçu de façon à ce qu'il se maintienne dans la zone de l'intersection avec l'entretoise transversale avant quand la charge est appliquée.

L'axe longitudinal du tampon doit être orienté vers l'avant et vers le bas avec un angle de 5° +/- 1° par rapport à l'horizontale et son axe transversal doit être orienté vers l'extérieur et vers le bas avec un angle de 25° +/- 1° par rapport à l'horizontale.

La charge doit être appliquée en moins de 15 secondes.

Sur l'ensemble de la structure de sécurité, l'essai ne doit produire ni rupture ni déformation supérieure à 100 mm, mesurée **sous charge** suivant l'axe d'application de la charge.