

**Validação Estrutural de um Novo Conceito de Base de Patim para  
Iniciação à Patinagem**

*Emanuel Soares de Sousa*

**Dissertação do MIEM**

Orientador: Prof. Mário Augusto Pires Vaz



**FEUP**

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho 2012



*Aos meus pais*



## **Resumo**

Os principais objetivos deste estudo passam por conhecer o comportamento do patim, quando submetido a esforços realizados durante a patinagem.

Para tal recorreu-se a ferramentas da Mecânica Experimental, a fim de avaliar o comportamento estrutural e influência das propriedades mecânicas dos materiais na construção dos patins.

Os resultados obtidos foram sempre validados, entre as simulações numéricas e os resultados experimentais.

Realizou-se ainda uma avaliação do comportamento dos patins nas mais variadas manobras, identificando-se os esforços inerentes.

No final, são apresentadas as conclusões sobre todo o trabalho realizado, e com ideias para a continuação do trabalho.



## **Abstract**

The main objectives of this study are to know the behavior of the skate, when subjected to efforts made during the skating.

We use Experimental Mechanics tools in the order to evaluate the influence of structural behavior and de mechanical properties of materials in the construction of the skates.

The results were valeted always between the numerical and de experimental results.

We carried out a further evaluation of the behavior of skates in various moves, identifying the efforts involved.

In the end, we present the conclusions on all the work done, and ideas for further work.



## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Professor Doutor Mário Vaz pelo apoio prestado, pela disponibilidade, pelo esclarecimento de dúvidas e toda ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Ao Engenheiro Nuno Viriato, pelo esclarecimento de dúvidas no desenrolar do trabalho.

Ao colaborador do Laboratório de Ótica e Mecânica Experimental – LOME, nomeadamente o Doutor Jaime Monteiro, na colagem dos extensómetros.

Ao Professor Doutor Rui Faria da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, pela cedência do campo para os ensaios experimentais.

Ao Engenheiro Sérgio Leirinha, pela ajuda nos moldes sobre as peças em plástico do patim.

Ao Sr. João Rodrigues da Jet Roller, pela informação dada sobre os patins existentes no mercado.

Aos meus pais, irmã e avós pelo apoio incondicional ao longo de todo o percurso académico, proporcionando-me sempre as melhores condições e motivação para conclusão do curso.

Aos meus amigos, pela amizade, ajuda e motivação ao longo de toda a vida académica.

A todos, o meu Muito Obrigado



# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
1.1. História do Patim .....	23
1.2. Hóquei patins em Portugal.....	24
<b>2. ESTADO DE ARTE .....</b>	<b>25</b>
2.1. Tipos de desportos com patins .....	25
2.2. Fundamentos de patinagem.....	27
2.3. Influência do atrito em patinagem.....	31
2.4. Aquisição de dados por telemetria.....	34
2.5. Tipos de patins.....	35
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>39</b>
<b>4. DESCRIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>41</b>
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
5.1. Extensometria.....	43
5.2. SolidWorks® .....	44
5.3. Ansys® v 12.0 .....	44
5.4. Sistema de telemetria .....	45
<b>6. ANÁLISE DOS PATINS .....</b>	<b>47</b>
6.1. Estudo patim com base em alumínio .....	47
6.1.1. Identificação das propriedades dos materiais do patim .....	47
6.1.2. Carregamento do patim .....	50
6.1.2.1. Carregamento do patim a meio vão .....	50
6.1.2.2. Carregamento traseiro no patim.....	53
6.1.3. Validação Ansys® .....	55
6.1.3.1. Carregamento a meio vão .....	58
6.1.3.2. Carregamento traseiro no patim.....	60
6.2. Estudo do patim em base de chapa.....	62

6.2.1.	Identificação das propriedades dos materiais do patim .....	62
6.2.2.	Carregamento do patim .....	63
6.2.2.1.	Carregamento a meio vão .....	64
6.2.2.2.	Carregamento sobre as cruzetas do patim traseiras .....	65
6.2.2.3.	Carregamento frontal no patim .....	65
6.2.3.	Validação dos modelos em Ansys® .....	66
6.2.3.1.	Carregamento a meio vão .....	68
6.2.3.2.	Carregamento sobre a cruzeta traseira do patim .....	70
6.2.3.3.	Carregamento frontal patim .....	71
<b>6.3.</b>	<b>Estudo patim base Zytel® .....</b>	<b>73</b>
6.3.1.	Identificação das propriedades dos materiais do patim .....	74
6.3.2.	Carregamento patim - Ansys® .....	75
6.3.2.1.	Carregamento a meio vão .....	77
<b>6.4.</b>	<b>Aquisição de dados por Telemetria .....</b>	<b>79</b>
6.4.1.	Análise das deformações no patim com corpo maquinado em alumínio.....	80
6.4.2.	Análise das deformações no patim corpo em chapa .....	84
<b>6.5.</b>	<b>Análise das tensões nas bases dos patins .....</b>	<b>87</b>
6.5.1.	Análise das tensões no patim em corpo de alumínio .....	88
6.5.2.	Análise das tensões no patim em chapa quinada .....	89
<b>7.</b>	<b>ANÁLISE DA PATINAGEM BASEADA EM TELEMETRIA .....</b>	<b>93</b>
<b>7.1.</b>	<b>Análise do patim em corpo alumínio maquinada .....</b>	<b>93</b>
7.1.1.	Travagem.....	93
7.1.2.	Arranque.....	95
<b>7.2.</b>	<b>Análise do patim em chapa quinada.....</b>	<b>96</b>
7.2.1.	Travagem.....	96
7.2.2.	Arranque.....	98
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>101</b>
<b>9.</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>103</b>
<b>10.</b>	<b>LISTA DE REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO A: PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DOS PATINS .....</b>		<b>107</b>

## **ANEXO B: PROPRIEDADES DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS 109**



## Lista de figuras

Figura 2.1 - Patim em linha .....	25
Figura 2.2 - Patim <i>quad</i> .....	26
Figura 2.3 - Patim em gelo .....	26
Figura 2.4 - Movimento patinagem na direção frontal .....	27
Figura 2.5 - Movimento de patinagem na direção traseira .....	28
Figura 2.6 - Lâmina para patinagem em velocidade sobre o gelo .....	29
Figura 2.7 - Patinador de velocidade .....	30
Figura 2.8 - Diagrama de forças em movimento curvilíneo [7]. .....	30
Figura 2.9 - Variação da resistência ao rolamento com a velocidade .....	33
Figura 2.10 - Patim instrumentado para ensaio de telemetria [9]. .....	34
Figura 2.11 - Base em alumínio maquinado .....	36
Figura 2.12 - Base em chapa quinada .....	37
Figura 2.13 - Base em polímero injetado .....	37
Figura 5.1 - Sistema de aquisição de dados para extensometria .....	44
Figura 6.1- Vista explodida do patim de corpo em alumínio maquinado .....	48
Figura 6.2 - Gráfico tensão vs deformação – Borracha 1 .....	49
Figura 6.3 - Gráfico tensão vs deformação - Borracha 2 .....	49
Figura 6.4 - Extensômetros colados no patim .....	50
Figura 6.5 - Carregamento a meio vão .....	51
Figura 6.6 - Gráfico das deformações para o carregamento a meio vão .....	52
Figura 6.7 - Gráfico com patamar de deformação para 40 Kg .....	53
Figura 6.8 - Carregamento sobre a cruzeta traseira do patim .....	54
Figura 6.9 - Gráfico das deformações para carregamento na parte traseira do patim ....	54
Figura 6.10 - Geometria da base de alumínio maquinado .....	56
Figura 6.11 - Aplicação da carga a meio vão no Ansys .....	58
Figura 6.12 - Deformação no extensômetro inferior .....	58
Figura 6.13 - Distribuição das tensões de Von Mises no patim .....	60
Figura 6.14 – Modelo utilizado para simular o carregamento traseiro no software Ansys® .....	60
Figura 6.15 - Deformação a meio vão no extensômetro inferior .....	61

Figura 6.16 - Vista explodida dos componentes do patim em chapa quinada .....	62
Figura 6.17 - Extensómetros colados no patim .....	64
Figura 6.18 – Deformações no carregamento a meio vão .....	64
Figura 6.19 - Geometria do patim no Ansys .....	67
Figura 6.20 - Aplicação da força no Ansys .....	68
Figura 6.21 - Deformação no patim, na parte inferior.....	69
Figura 6.22 - Aplicação da carga na parte traseira do patim .....	70
Figura 6.23 - Deformação na parte inferior do patim obtida no Ansys.....	70
Figura 6.24 - Deformação na parte lateral do patim obtida no Ansys.....	71
Figura 6.25 - Aplicação da carga na parte frontal do patim, modelo para o Ansys .....	72
Figura 6.26 - Deformação na parte inferior do patim no Ansys.....	72
Figura 6.27 - Deformação na parte lateral do patim obtida no Ansys.....	72
Figura 6.28 - Vista explodida dos componentes do patim com base polimérica .....	74
Figura 6.29 - Geometria do patim construída por injeção de Zytel® .....	76
Figura 6.30 - Carregamento do patim utilizado no Ansys.....	78
Figura 6.31 - Deformação do patim obtida no Ansys .....	78
Figura 6.32 - Patim base em alumínio maquinado com sistema de telemetria .....	79
Figura 6.33 - Patim base em chapa quinada com sistema de telemetria .....	80
Figura 6.34 - Gráfico das deformações adquiridas através do sistema de telemetria - Patim base alumínio maquinado.....	80
Figura 6.35 - Gráfico com a equação da força vs deformação no extensómetro inferior	81
Figura 6.36 - Gráfico com a equação da força vs deformação no extensómetro lateral	81
Figura 6.37 - Aplicação da carga no Ansys FY.....	82
Figura 6.38 - Aplicação no Ansys FZ .....	83
Figura 6.39 - Deformação no extensómetro inferior obtida no Ansys .....	83
Figura 6.40 - Gráfico das deformações adquiridas através do sistema de telemetria - Patim base chapa quinada.....	84
Figura 6.41 - Gráfico com a equação da força vs deformação no extensómetro inferior	85
Figura 6.42 - Gráfico com a equação da força vs deformação no extensómetro lateral	85
Figura 6.43 - Aplicação da carga no modelo do programa Ansys FY .....	86
Figura 6.44 - Aplicação da carga no Ansys FZ.....	86
Figura 6.45 - Deformação no extensómetro inferior no Ansys .....	87

Figura 6.46 - Distribuição das tensões para a deformação máxima no extensómetro inferior .....	88
Figura 6.47 - Distribuição das tensões para a deformação máxima no extensómetro lateral .....	89
Figura 6.48- Distribuição das tensões para a deformação máxima no extensómetro inferior .....	90
Figura 6.49 - Distribuição das tensões para a deformação máxima no extensómetro lateral .....	90
Figura 6.50 - Rotura localizada no patim .....	91
Figura 7.1 - Deformações do patim durante uma manobra de travagem .....	94
Figura 7.2 - Diagrama da flexão desviada .....	94
Figura 7.3 - Análise das tensões no patim .....	95
Figura 7.4 - Arranque de calços.....	95
Figura 7.5 - Deformações do patim durante uma manobra de arranque de calços.....	96
Figura 7.6- Deformações do patim durante uma manobra de travagem .....	97
Figura 7.7 - Análise das tensões no patim .....	98
Figura 7.8 - Deformações do patim durante uma manobra de travagem .....	99



## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Desportos com patins .....	27
Tabela 2.2 - Comparação dos valores de patinagem em gelo e patinagem em rodas [8]	33
Tabela 2.3 - Forças desenvolvidas pelo patim.....	35
Tabela 2.4 - Pesos dos patins.....	38
Tabela 6.1 - Componentes constituintes do patim.....	48
Tabela 6.2 - Deformações para diferentes carregamentos.....	53
Tabela 6.3 - Deformações no carregamento traseiro do patim.....	55
Tabela 6.4 - Propriedades dos materiais .....	56
Tabela 6.5 - Figuras com a geração de malha pormenorizada .....	57
Tabela 6.6 - Caracterização da malha do patim.....	57
Tabela 6.7 - Deformações obtidas no Ansys para diferentes carregamentos, nos diferentes extensómetros .....	59
Tabela 6.8 - Erro entre as deformações medidas e as deformações no Ansys .....	59
Tabela 6.9 - Deformações nos carregamentos traseiros nos diferentes extensómetros..	61
Tabela 6.10 - Erro dos valores medidos e os valores determinados no Ansys.....	61
Tabela 6.11 - Lista de componentes do patim em chapa quinada .....	63
Tabela 6.12 - Deformações no carregamento a meio vão .....	65
Tabela 6.13 - Deformações obtidas no Ansys no carregamento traseiro .....	65
Tabela 6.14 - Deformações no carregamento frontal .....	66
Tabela 6.15 - Propriedades dos materiais do patim de chapa quinada .....	66
Tabela 6.16 - Geração da malha no Ansys, detalhes .....	67
Tabela 6.17 - Caracterização da malha do patim.....	68
Tabela 6.18 - Tabela das deformações medidas nos locais dos extensómetros .....	69
Tabela 6.19 - Erro entre as deformações experimentais e as deformações no Ansys ....	69
Tabela 6.20 - Deformações no Ansys.....	71
Tabela 6.21 - Erro entre as deformações experimentais e as deformações do Ansys ....	71
Tabela 6.22 - Deformações no Ansys.....	73
Tabela 6.23 - Tabela de erro entre as deformações experimentais e as deformações do Ansys .....	73
Tabela 6.24 - Componentes do patim.....	75
Tabela 6.25 - Propriedades dos materiais do patim.....	76

Tabela 6.26 - Malha pormenorizada.....	77
Tabela 6.27- Caracterização da malha do patim.....	77
Tabela 6.28 - Deformações calculadas no Ansys .....	79
Tabela 6.29 - Deformações e forças desenvolvidas pelo patim .....	82
Tabela 6.30 - Erro das deformações experimentais e as deformações no Ansys .....	83
Tabela 6.31 - Deformações e forças desenvolvidas pelo patim .....	86
Tabela 6.32 - Erro das deformações experimentais e as deformações no Ansys .....	87
Tabela 0.1 - Propriedades do Nylon utilizado na construção do patim em chapa quinada .....	107
Tabela 0.2 - Propriedades do Nylon utilizado na construção do patim Zytel® .....	108
Tabela 0.1 - Propriedades do sistema de aquisição de dados SCXI - 1001.....	109
Tabela 0.2 - Propriedade do sistema de telemetria.....	110

## **Lista de símbolos e abreviaturas**

$\Delta I$  – Variação da impulsão

$\Delta v$  – Variação da velocidade

$g$  – aceleração da gravidade

$F_x$  – componente horizontal da força gerada do patim com o gelo

$F_y$  – componente vertical da força gerada do patim com o gelo

$L$  – distância entre o ponto P e G

$m$  – massa

$R$  – raio da curvatura

$a_c$  – aceleração centrípeta

$P_f$  – Potência

$F_1$  – Força individual, dependente do atleta

$F_2$  – Força individual, dependente do atleta

$v$  – Velocidade

$F$  – Força

$\sigma$  – Tensão

$E$  – Módulo de Young

$\varepsilon$  – Deformação



# 1. Introdução

## 1.1. História do Patim

O patim é um instrumento utilizado em várias modalidades, onde este pode ter diversas geometrias. Dependente do desporto, o formato do patim, poderá ter as todas rodas em linhas, ou em pares, paralelas duas a duas.

A primeira aparição de um patim, deu-se em 1743, em Londres, não sendo conhecido o seu criador até aos dias de hoje [1].

Posteriormente, em 1760, o belga Joseph Merlin, idealizou o patim, com uma única linha de rodas, os conhecidos patins em linha.

As manobras mais complicadas, tornava-se complicada com este patim, então em 1863, James Plinton, revolucionou o mundo dos patins, ao construir um patim com quatro rodas, dois pares lado a lado [2].

A facilidade em patinar com este tipo de patim revolucionou a indústria dos patins, aumentando a sua produção.

Com esta introdução nos patins, as pistas de patinagem tornaram-se lugares de reuniões sociais populares, isto levou ao aumento crescente da construção de maiores e melhores pistas de patinagem.

Como desporto, em 1877, o hóquei em Patins começa a ser praticado como uma modalidade, mas apenas em 1905 foi apreciado de uma forma competitiva e organizada. Portugal, em 1974, venceu os terceiros campeonatos da Europa, realizados em Lisboa. Esta vitória, leva os portugueses a olharem para o hóquei como um desporto valorizado, tornando-se assim modalidade nacional [3].

Estes desportos continuam em evolução, e o desempenho dos atletas não apenas deles próprios, mas sim também dos patins que usam nas suas manobras, continuando estes numa fase de evolução.

## 1.2. Hóquei patins em Portugal

O hóquei em patins é um jogo bastante vivido pela população portuguesa, embora não seja o desporto rei, já deu muitas alegrias ao país, sendo a seleção portuguesa cotada como uma das melhores seleções de todo o mundo.

Pensa-se que em Portugal o hóquei teve origem num jogo chamado *Choca*. Esse jogo era jogado com uma pequena bola de madeira ou com uma pinha à qual se dá o nome de *reca*.

O primeiro relato histórico da patinagem em Portugal foi por volta de 1873, data em que D. Maria Pia terá apresentado os primeiros patins em Mafra. Durante muito tempo a patinagem esteve ligada à aristocracia.

O primeiro ringue foi construído na antiga cidade de Lourenço Marques em 1905.

Os primeiros registos de patinagem em recintos públicos apontam para o Colégio Militar e Escola Académica de Lisboa em 1905. Nesse mesmo ano, terá sido praticada coletivamente em Carcavelos, por influência de funcionários ingleses.

Os ingleses foram também os responsáveis pela realização do primeiro jogo entre equipas portuguesas em 1912. Estes terão sido os grandes impulsionadores e influenciadores do início da prática do Hóquei em Patins em Portugal.

Nos anos 1930 a 1940, era praticado nos concelhos de Viana do Castelo, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Vinhais, Espinho, Cantanhede, Fornos de Algodres, várias localidades da Beira Baixa e ainda Sesimbra [4]

A Federação Portuguesa de Patinagem foi fundada em 1933. Em 1939 organiza os primeiros campeonatos nacionais, os quais foram ganhos pelo Sporting. Portugal, para orgulho de todos os portugueses e em especial dos praticantes e de todas as pessoas ligadas ao hóquei em patins, é o país do mundo com mais títulos internacionais conquistados

Neste momento, Portugal conta com cerca de 80 equipas federadas a jogar em Portugal, divididas pelas diversas divisões e regiões geográficas [5].

## 2. Estado de Arte

### 2.1. Tipos de desportos com patins

Quando se fala em patinagem, a tendência das pessoas é pensarem no hóquei em patins ou patinagem artística. Talvez porque são as modalidades mais praticadas em Portugal, enquanto por exemplos nos Estados Unidos, a tendência estará mais virada para o hóquei em gelo.

No entanto, a patinagem, detém uma gama de desportos com as mais variadas vertentes, desde a patinagem artística já falada, que tem por base o sincronismo de movimentos associados aos patins, até ao Freestyle, correspondendo este a uma liberdade de movimentos com os patins.

Neste capítulo, falar-se-á, sobre os desportos que utilizam patins, assim como o tipo de patins utilizados.

O mercado dispõe essencialmente de três tipos de patins, sendo eles os patins em linha, patins *quad* e patins de lâmina.

Os patins em linha, tal como o nome indica são construídos com as suas rodas em linha, como se pode ver na Figura 2.1.



Figura 2.1 - Patim em linha

Os patins *quad*, são construídos com quatro rodas estando estas paralelas duas a duas, são dos patins mais utilizados, principalmente em patinagem artística e no hóquei em patins. Na Figura 2.2, pode observar-se um exemplar do patim em questão.



**Figura 2.2 - Patim *quad***

Os patins em lâmina, são utilizados apenas em pisos em gelo. Estes dispõem de uma lâmina com um baixo coeficiente de atrito, permitindo assim ao patinador atingir maiores velocidades de patinagem. Na Figura 2.3 pode ver-se um exemplar deste tipo de patim.



**Figura 2.3 - Patim em gelo**

Como se pode observar pelas imagens, são visíveis as diferenças entre os três tipos de patins.

Embora os patins *quad* e os das rodas em linha sejam utilizados nos mesmos tipos de pisos, a disposição das rodas tem muita importância no fim em eles são utilizados.

Os patins *quad* permitem uma maior mobilidade para o patinador, isto é, a realização de curvas fechadas e rápidas trocas de direção, enquanto os patins em linha são mais utilizados para corridas em velocidade.

Assim cada desporto tem a necessidade de utilização de um dado patim, adaptando-o o melhor possível, de forma a obter um melhor desempenho do atleta.

Na Tabela 2.1 que se segue, apresentam-se os desportos com patins, desde os patins em linha, aos patins em gelo[6].

Tabela 2.1 - Desportos com patins

Gelo	Quad	Linha
Patinagem artística	Hóquei em patins	Patinagem velocidade
Bandy	Patinagem artística	Inline Alpine
Hóquei em gelo	Roller derby	Freestyle
Ringette	---	Hóquei em linha
Short track	---	---
Tour skating	---	---

Como se pode ver pela tabela, o número de desportos, ou modalidades desportivas, com patins ainda é elevado, o que leva a considerar que é importante o desenvolvimento destes e adapta-los o melhor possível às características de cada atleta, por forma a melhorar o quanto possível o seu desempenho.

## 2.2. Fundamentos de patinagem

A patinagem no gelo é um conjunto de dois movimentos, que consistem no deslizar dos patins sobre o gelo e o empurrar do patim contra o gelo, por forma a provocar impulsão e consequentemente um ganho de velocidade.

Na prática a sincronização entre estes dois movimentos, pode tornar-se tão fácil como caminhar.

A física da patinagem em gelo está também relacionada com a baixa fricção da lâmina do patim com o piso em gelo. Esta baixa fricção permite ao patinador facilidade em deslizar sobre a superfície, permitindo efetuar acelerações, travagens e curvas.

O patinador impulsiona-se para a frente, empurrando a lâmina contra o gelo, com os pés inclinado para fora, gerando assim uma força perpendicular à lâmina.

Uma vez que a fricção entre o gelo e a lâmina é muito baixo, torna-se esta a única forma de conseguir gerar movimento sobre a superfície.

Na Figura 2.4 seguinte, fica a demonstração do movimento executado.

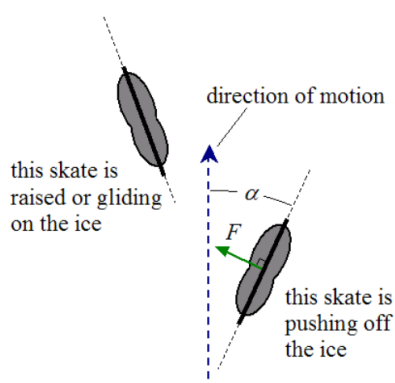
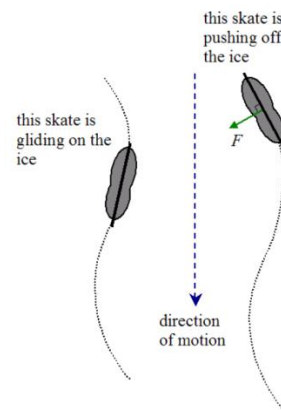


Figura 2.4 - Movimento patinagem na direção frontal

A força perpendicular gerada pode dividir-se em duas componentes, uma vertical e uma horizontal. Como o movimento gerado alterna entre os dois pés, então pode caracterizar-se como simétrico provocando uma anulação da componente horizontal. Por sua vez, as componentes verticais são adicionadas, e tendo estas o sentido do movimento, então são elas as responsáveis pela movimentação do atleta.

Analisando a figura, repara-se que o valor das componentes é dependente do ângulo, pois quanto maior este for, maior será a componente vertical e existirá maior impulsão.

Em patinagem, é possível fazer a movimentação inversa, isto é, andar para trás descrevendo um “S”, como se pode ver na Figura 2.5, no qual as lâminas do patim estão em contacto permanente com o gelo.



**Figura 2.5 - Movimento de patinagem na direção traseira**

Durante este movimento o patinador não pode empurrar o patim contra o gelo, como faz no movimento para a frente, sendo assim o movimento mais lento.

Nesta técnica o patim é impulsado virado para dentro, enquanto o outro patim desliza livremente. À medida que se vai movimentando para trás, o movimento é alternado entre os pés do patinador, sendo assim um movimento simétrico tal, como na movimentação para a frente.

Com o aumento da velocidade do patinador, a velocidade da perna em relação ao gelo diminui. Isto acontece, porque com o aumentar da velocidade do patinador a impulsão vai decrescendo, logo a maior impulsão do patinador é quando ele parte do repouso.

Por exemplo, se a velocidade máxima que o patinador pode atingir é de  $7\text{ m/s}$ , e sabendo que a expressão da impulsão é dada por:

$$\Delta I = m \times \Delta v$$

2.1

Então, analisando a expressão, com o aumento da velocidade o valor de  $\Delta v$  vai diminuir e conseqüentemente o valor da impulsão também.

Conseqüentemente, a velocidade máxima que o patinador pode atingir não é só dependente da impulsão, mas também é influenciada pela velocidade com que realiza o movimento de patinagem.

Para se chegar à velocidade máxima que um atleta pode obter, é necessário fazer uma análise biomecânica dos movimentos de patinagem procurando a sua otimização.

Outro aspecto a falar sobre a patinagem é o equilíbrio que o patinador tem que ter durante o movimento. Para isso, o patinador tem que se baixar para a frente na direção do movimento e fletir ligeiramente as pernas evitando uma queda para trás.

Tal equilíbrio é devido à movimentação do seu centro de massa, pois quando o patinador se impulsiona para a frente, é gerada uma força sobre o apoio, a componente vertical já falada anteriormente, que causa um binário sobre o patim. Em contra partida a movimentação do centro de massa também gera um binário, desta vez com um sentido oposto, conseguindo assim gerar-se o equilíbrio do atleta.

Para além do binário, o atleta ao baixar-se diminui a exposição ao ar, diminuindo assim a força de atrito que o ar iria provocar no corpo de atleta devido à sua velocidade de deslocação.

Falando-se de uma modalidade de patinagem específica, isto é, patinagem em velocidade sobre piso de gelo, utiliza-se uns patins apropriados com uma lâmina denominada de “clap skates”.

Na Figura 2.6 é possível ver a lâmina em questão.



**Figura 2.6 - Lâmina para patinagem em velocidade sobre o gelo**

Este tipo de lâmina permite que o espaço de tempo em contacto com o gelo seja maior, pois com o elevar do calcanhar do atleta para um novo impulso, a lâmina conseguirá permanecer em contacto com o gelo, concedendo-se assim um maior impulso e conseqüentemente uma subida da velocidade.

Em outros desportos de patinagem em gelo, como a patinagem artística, exige uma maior técnica e habilidade, enquanto a patinagem de velocidade é voltada para a velocidade e a eficiência do movimento utilizado na sua geração.



Figura 2.7 - Patinador de velocidade

Quando o patinador está na parte reta da pista, os seus passos são mais largos do que na parte em que realiza movimentos curvos. Isto deve-se ao facto de que com passos curtos, seja mais fácil executar-se correção da curvatura a realizar. A consequência deste tipo de passos é a diminuição da velocidade de patinagem, muito importante para este desporto. Por sua vez o movimento curvilíneo gera uma aceleração centrípeta, que empurra o atleta para o interior da pista evitando que a força centrífuga lhe imponha um movimento retilíneo.

Na Figura 2.8, podemos analisar as forças geradas, num movimento curvilíneo do atleta.

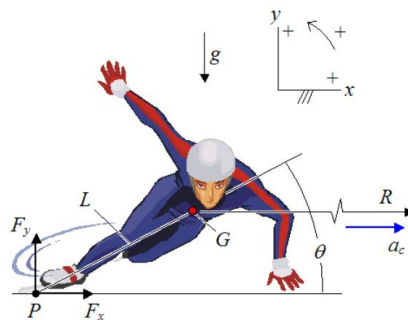


Figura 2.8 - Diagrama de forças em movimento curvilíneo [7].

Realizando uma análise dinâmica, obtém-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = m \times a_c \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_G = 0 \end{array} \right.$$

2.2

Sabendo que,

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

2.3

30

Então,

$$\begin{cases} F_x = m \times \frac{v^2}{R} \\ F_y - m \times g = 0 \\ F_x \times L \times \sin(\theta) - F_y \times L \times \cos(\theta) = 0 \end{cases}$$

2.4

Desenvolvendo matematicamente,

$$\begin{cases} \tan(\theta) = \frac{g \times R}{v^2} \\ F_y = m \times g \\ F_x = m \times g \times \cot(\theta) \end{cases}$$

2.5

Posto isto, é possível fazer toda a análise dinâmica ao patinador num movimento curvilíneo considerando o equilíbrio de cada instante do movimento [7].

### 2.3. Influência do atrito em patinagem

Sendo a patinagem um desporto em que o contacto com o solo é praticamente constante, o atrito entre a superfície de apoio e piso assume um papel de grande importância. Por sua vez o atrito varia de piso para piso, gerando forças diferentes e alterando as condições de patinagem.

Para além da força de atrito que o patinador realiza com o solo, é importante falar também da força de atrito gerada pela fricção do ar devido ao movimento do atleta.

Como já foi visto, existe diferenças entre os patins, revelando-se a maior diferença entre os patins de rodas (linha ou *quad*) e os patins de lâmina para gelo.

Como os pisos em que estes funcionam são completamente diferentes, falar-se-á da forma como se realiza a medição destas forças.

No caso da patinagem em gelo, um modelo foi desenvolvido por (Ingen Schenau 1982), que relaciona a potência necessária para superar a fricção com o ar e com o piso.

A expressão que relaciona então estas duas componentes, é dada por:

$$P_f = F_1 \times v^3 + F_2 \times v$$

2.6

Os valores de  $F_1$  e  $F_2$  dizem respeito a valores de forças, que têm de ser determinadas individualmente, variando de patinador para patinador, tendo em conta o ângulo do joelho, posição do tronco, peso e a altura de atleta.

Para além disso, o valor de  $K_2$  contabiliza ainda o valor do coeficiente de atrito com o piso, no caso do gelo, foi estimado por (Kobayshi 1973) um valor de 0.006. Para o caso de  $K_1 \times v^3$  diz respeito à perda de potência realizada pela fricção do ar sobre o patinador.

Conhecida a potência necessária associada ao movimento do patinador poder-se-á calcular o trabalho realizado.

$$W = P_f / f$$

2.7

Sabendo que  $f$  diz respeito à frequência de patinagem do atleta, isto é, o movimento de avanço durante a patinagem.

Para a patinagem com rodas, para se estimar a resistência ao rolamento, recorre-se a dois tipos de ensaios. O primeiro, baseia-se no método de *di Prampero et al*, que consiste no rebocar de um patinador com um dado peso e altura, a uma velocidade constante e tendo o patinador que assumir uma certa posição com o ângulo do joelho e do tronco.

O reboque é realizado por meio de uma corda, e terá que manter-se uma distância entre o patinador e o rebocador de modo a que a turbulência do ar não seja sentida.

Para medir a força que o rebocador exerce, é colocada uma mola dinamométrica em série com a corda. Assim mede-se em simultâneo a força exercida pela mola e a velocidade a que se desloca o patinador.

O segundo ensaio, consiste na colocação de massas sobre um trenó com uns patins, fazendo-se o reboque medindo a força e a velocidade, consegue-se obter a resistência ao rolamento. Este método permite desprezar o efeito do atrito do ar.

De forma a compreender o que foi dito anteriormente, apresenta-se os resultados obtidos num artigo científico, onde se faz a medição do coeficiente de atrito para patins com rodas.

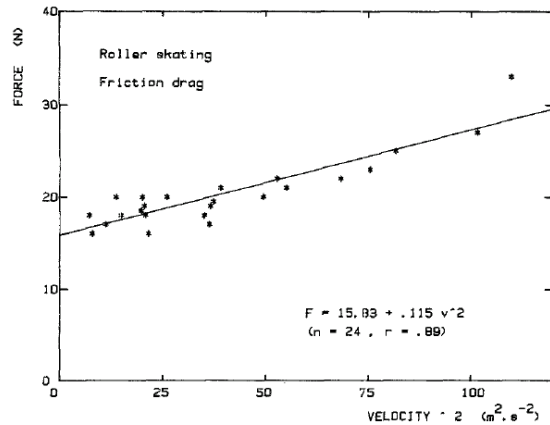


Figura 2.9 - Variação da resistência ao rolamento com a velocidade

Aproximando-se os resultados a uma reta, obtém-se a seguinte equação:

$$F = 15.83 + 0.115 \times v^2$$

2.8

Isto permite-nos concluir que a resistência ao rolamento varia com o quadrado da velocidade.

Para terminar, apresenta-se os dados de medições na Tabela 2.2 que comparam os valores obtidos para a patinagem em gelo e a patinagem sobre rodas.

Tabela 2.2 - Comparação dos valores de patinagem em gelo e patinagem em rodas [8]

Table 2. Mean (SD) values for speed ( $v$ ), power ( $P_i$ ), work per stroke ( $A$ ), stroke frequency ( $f$ ), power loss due to air friction ( $P_{air}$ ), power loss due to surface friction ( $P_{surface}$ ) and lap times during speed skating and roller skating

		Speed skating	Roller skating
Speed ( $v$ )	( $m \cdot s^{-1}$ )	9.78 (0.39)	8.04 (0.30)*
Power ( $P_i$ )	( $W \cdot kg^{-1}$ )	3.33 (0.44)	3.31 (0.26)
Work per stroke ( $A$ )	( $J \cdot kg^{-1}$ )	2.30 (0.18)	2.36 (0.25)
Stroke frequency ( $f$ )	( $s^{-1}$ )	1.44 (0.10)	1.40 (0.10)
$P_{air}$	( $W$ )	199.9 (18.6)	132.0 (13.0)*
$P_{surface}$	( $W$ )	42.3 (2.2)	109.1 (8.4)*
Lap times	( $s$ )	42.7 (1.5)	37.0 (3.1)

Da tabela, os valores a tomar mais em conta, são a potência perdida por efeitos de arrasto aerodinâmico e as perdas pelo contato com o solo. Repare-se que especialmente na patinagem em gelo, as perdas do ar são bastante elevadas quando comparadas com as do solo.

É de importância mais uma vez salientar, que os dados dependem do atleta, como o peso e a altura entre outros fatores que influenciam os resultados [8].

#### 2.4. Aquisição de dados por telemetria

Para se conhecer os esforços que um patinador realiza durante a patinagem, é necessário realizar medições. Assim consegue-se proporcionar o desenvolvimento em termos de técnica de patinagem, estudo biomecânico do patinador e também o desenvolvimento dos equipamentos utilizados em patinagem.

Neste contexto, o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Padova, realizou o estudo das deformações e esforços resultantes durante a patinagem, num patim em linha de quatro rodas.

Embora o conteúdo da tese seja a análise de um patim *quad*, é importante conhecerem-se os esforços nos patins em linha, obtendo-se assim um meio de comparação.

Neste ensaio do patim em linha, as medições foram feitas com um patinador medalhista, através de um sistema de aquisição de dados por telemetria, o que permitirá mais à frente comparar os resultados obtidos.

Para se realizar este ensaio é necessário instrumentar o patim com extensómetros, permitindo assim a medição das deformações e daí inferir os esforços realizados pelo patinador durante os apoios.

No caso do ensaio em questão, foram utilizados 8 extensómetros em cada um dos lados do quadro do patim, permitindo assim obter-se a deformação total do patim, como se pode ver na Figura 2.10.



Figura 2.10 - Patim instrumentado para ensaio de telemetria [9].

Para deteção das deformações nos extensómetros, estes são integrados nas respetivas pontes de medição.

A disposição dos extensómetros permite a recolha dos dados relativamente às forças verticais  $F_Z$  e as cargas laterais  $F_Y$ , contando com quatro rodas com  $100\text{ mm}$  de diâmetro.

Os cabos de ligação são devidamente agrupados e amarrados numa tomada que transmitirá assim o sinal, tal como se pode ver na Figura 2.10.

Assim, os oito canais existentes, correspondendo cada um à respetiva ponte de medição completa, são calibrados estaticamente e ciclicamente antes de serem realizadas as medições.

As medições são realizadas a uma frequência de  $400\text{ Hz}$ , num sistema de aquisição de dados, sendo este transportado numa mochila enquanto o atleta patina livremente.

Os testes foram realizados numa pista com formato oval, com um perímetro de  $200\text{ metros}$  gravando-se o percurso com duas câmaras comerciais, conseguindo-se assim associar-se o filme às forças, após uma sincronização.

Os dados recolhidos, foram tratados com o propósito de estimar os picos de valores de força, a distribuição da força sobre as rodas e a forças existentes durante a patinagem em reta e em curva.

A Tabela 2.3 apresenta os resultados das forças obtidas durante os ensaios de patinagem.

**Tabela 2.3 - Forças desenvolvidas pelo patim**

	INNER skate				OUTER skate			
	FY [N]		FZ[N]		FY[N]		FZ[N]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
STRAIGHT	-43	146	-61	1270	-120	53	-158	1270
CURVE	-270	0	-58	1210	-243	37	-172	1610

Analisando a tabela, as cargas máximas surgem no eixo dos Z, sendo a maior correspondente à patinagem em curva, no patim de fora. Sabendo que o atleta tem um peso de  $700\text{ N}$ , pode-se afirmar que a força desenvolvida é mais dobro do peso do atleta.

Sabe-se ainda que através da análise experimental, que as maiores cargas se situam nas rodas traseiras, ponto a ter em consideração no desenvolvimento do patim.

Este estudo poderá ter importância quando a mesma análise for realizada no patim *quad*, isto irá permitir realizarem-se comparações entre os dois patins, contribuindo para um desenvolvimento de novas geometrias ou estudos biomecânicos [9].

## 2.5. Tipos de patins

Como já foi falado, a patinagem aos longos dos anos tem vindo a evoluir, tanto em termos de técnica como em termos dos patins utilizados.

O mercado já dispõe de várias gamas de patins, as mais baratas para aqueles que se iniciam no desporto, mas também dispõe de patins de elevado valor acrescentado, para os profissionais da modalidade.

O patim é construído por várias peças, mas o maior interesse centra-se na base do patim e nas cruzetas. A base constitui o corpo principal do patim e o suporte para as cruzetas, responsáveis pela fixação das rodas.

Dentro das bases para patins *quad*, objeto deste trabalho, existem três tipos que se destacam mais. A base com corpo em alumínio maquinado, a base com corpo em chapa de alumínio e a base polimérica.

Estes tipos são atualmente os mais utilizados em patinagem e falar-se-á seguidamente sobre cada uma delas.

O patim de corpo em alumínio maquinado é, talvez, o mais utilizado em patinagem, tanto no hóquei como na patinagem artista [10]. A Figura 2.11 mostra o tipo de patim em questão.

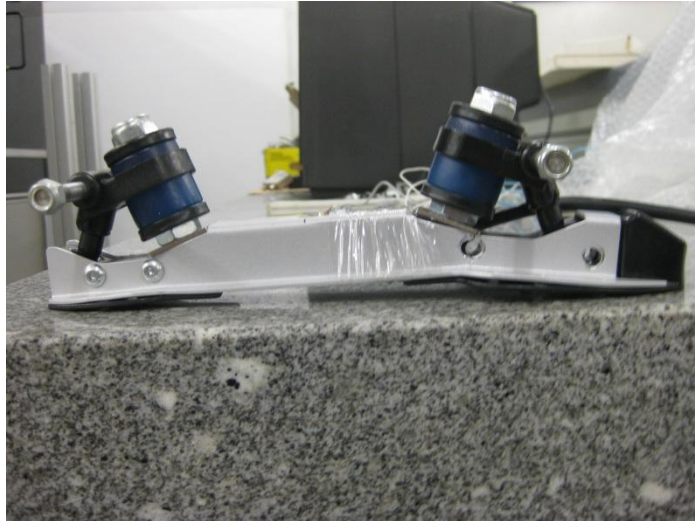


**Figura 2.11 - Base em alumínio maquinado**

Se se observar na figura, encontra-se rapidamente o motivo da designação do nome, pois tal como se pode ver, o corpo é construído de um bloco de metal em alumínio maquinado com a configuração desejada.

O processo de fabrico parece simples, mas existe um problema relacionado com os atletas. Dependente do tamanho de calçado utilizado pelo atleta, é necessário escolher uma base de comprimento adequado, obrigando à existência de um grande número de bases, provocando assim um acréscimo de preço.

Outro patim, recentemente surgido no mercado e talvez o mais económico utiliza chapa quinada para construir o corpo principal da base. Dado o baixo custo de fabrico deste patim, que se mostra na Figura 2.12, poderá ser uma boa opção para a aprendizagem.



**Figura 2.12 - Base em chapa quinada**

Este patim permite que o seu custo seja menor, pois os componentes em que apertam as cruzetas são sempre os mesmos, variando apenas o tamanho da base metálica construída em alumínio.

O facto de a base ser construída em chapa quinada, facilita o processo de fabrico em relação ao patim anterior, em que era necessário partir de um bloco de alumínio e maquina-lo para um dado tamanho. Neste tipo de patim esse problema não existe, com duas ferramentas, uma de corte e outra de quinagem, consegue-se obter todos os tamanhos necessários, provocando assim a tal diminuição de custo. Deve referir-se que existem atualmente processos de corte de chapa que permitem obter os diversos tamanhos necessários em planificação para depois serem quinados.

Para finalizar o tema de bases, falta apenas referir o patim de base polimérica, mostrado na Figura 2.13 [10].



**Figura 2.13 - Base em polímero injetado**

Este patim, tal como se vê na figura, todo ele é construído pela injeção de uma dado material polimérico. No ANEXO A, Tabela 0.2, podem consultar-se as tabelas de propriedades do material mais utilizado para esta aplicação.

O patim de base polimérica é muito usado pelos iniciantes, pois tem um custo baixo, mas em compensação as suas propriedades mecânicas e os pormenores construtivos não são os melhores. Contudo, deve referir-se eu esta base é a mais utilizada pelos atletas que praticam hóquei em patins.

Quanto ao seu fabrico, é realizado através da injeção do material para um molde. Este molde possui uma geometria capaz de se ajustar ao tamanho que se pretende injetar, através da utilização combinada de um conjunto de posições.

Um ponto importante na escolha de um patim será o seu peso, pois este é importante para o desempenho do atleta. O cansaço faz-se sentir durante um jogo de hóquei e todos os pormenores podem ser importantes, sendo o peso um deles. Deve referir-se ainda que na patinagem artística onde a afinação das cruzetas assume um importante papel no desempenho do atleta este patim não é muito vulgar.

Na Tabela 2.4 que se segue, mostra o peso dos três tipos de bases de patins.

**Tabela 2.4 - Pesos dos patins**

<b>Peso dos patins</b>	
Patim base maquinada	594 gr
Patim base chapa quinada	422 gr
Patim base polimérica	482 gr

Analisando a tabela, concluiu-se que o patim mais leve é o construído em chapa quinada. Este fato traz grande vantagem para este tipo de patim, pois para além da forma como é construído que reduz o seu custo de fabrico e o seu peso, concluiu-se que é o patim a ter em conta no futuro desenvolvimento.

Outro dos componentes das bases dos patins são as cruzetas. As cruzetas são responsáveis pelo aperto das rodas e podem ser construídas em polímero ou em metal.

As poliméricas, são construídas no mesmo material que a base do patim, ver ANEXO A, Tabela 0.2. As deformações sofridas por este material são maiores que a cruzetas metálicas, mas em compensação o seu peso também é menor. Para atletas com menor porte ou em aprendizagem, são suficientes, pois estes não desenvolvem esforços tão elevados.

As cruzetas metálicas são normalmente construídas em alumínio maquinado. O peso é maior em relação às poliméricas, mas apresentam menores deformações o que é bom quando se patina com maior grau de exigência.

### 3. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho visa o estudo do comportamento mecânico de dois tipos de patins diferentes.

Para isso, irá recorrer-se a métodos experimentais estáticos e dinâmicos. Nos ensaios estáticos, será feita a identificação das propriedades dos materiais com os quais os patins são construídos e recorrendo a simulações numéricas far-se-á a respetiva validação dos modelos numéricos para simulação estrutural do comportamento dos patins. Estes modelos são depois sujeitos a outros tipos de esforços para melhor compreender o seu desempenho.

Os ensaios dinâmicos serão realizados num campo de patinagem, onde um patinador irá realizar as mais diversas manobras, onde se poderão identificar os esforços máximos inerentes ao patim.

Para finalizar, será feito um estudo detalhado das várias manobras, onde serão identificadas as deformações e os esforços aplicados pelo atleta no apoio e suportados pelo patim.

Apesar de serem estudados dois patins, a maior importância cairá sobre o patim em chapa quinada, pois pouco se conhece sobre este tipo e tem fortes potencialidades para vingar no mercado dada a sua estrutura e custo de produção.

Por forma a suportar a afirmação anterior fez-se também uma consulta para averiguar o custo do molde de produção do patim, dada a existência de peças em Nylon injetado como se poderá ver mais à frente.



## 4. Descrição ao desenvolvimento

Definidos os objetivos propostos para o trabalho, neste item serão descritos mais detalhadamente.

Numa primeira abordagem foi necessário produzir os desenhos 3D dos patins, para isso recorreu-se ao SolidWorks<sup>®</sup>, pois este tem a capacidade de ser importado para o *software* onde se realiza as simulações numéricas.

Seguidamente são realizados os ensaios estáticos sobre um patim instrumentado com extensómetros. O carregamento do patim com adição de massas de 10 Kg, que permitirá obter os gráficos Força deformação, de onde será possível realizar a calibração do modelo numérico do patim, pois são determinadas as propriedades dos materiais e validados os modelos.

Validados os modelos, realizam-se os ensaios dinâmicos. Para a realização destes ensaios, recorre-se a um sistema de telemetria que emite um sinal via *wireless*, isto permite que o patinador consiga realizar as suas manobras livremente isento de fios de ligação.

Posto isto, são obtidas as curvas com as deformações durante as manobras que, por sua vez, serão sincronizadas com um filme realizado durante a patinagem. Isto irá permitir que se identifique, o que cada manobra traduz em termos de deformações.

Com estas deformações máximas, sendo elas as mais críticas para os patins, são ajustados os modelos em Ansys<sup>®</sup>, capazes de reproduzir as forças impostas durante a patinagem. Assim é possível fazer um estudo da estrutura completa em termos de deformações e tendo em atenção a geometria do patim.

Para além das validações já descritas, faz-se ainda a identificação e registo de informação de outras manobras, tais como travagens e arranques de calços. O estudo destas manobras permitem que se conheçam as forças desenvolvidas nelas, podendo esta informação vir a ter importância em estudo biomecânicos, por exemplo.



## 5. Material e métodos

O trabalho contou com uma forte componente experimental além da utilização de simulação numérica. No capítulo que se segue, é feita referência a todos os materiais e métodos utilizados.

### 5.1. Extensometria

Para a análise de mecânica de uma dada superfície, uma das formas é a medição de deformações. Para isso, recorre-se à utilização de elementos sensores, como é o caso dos extensómetros eléctricos.

O extensómetro é um elemento sensor metálico, constituído por uma grelha com uma determinada configuração, sendo esta montada sobre uma folha em material polimérico que servirá de suporte, respondendo à variação do seu comprimento com um sinal eléctrico, quando associado a um circuito electrónico adequado.

Esta variação de resistência associada à variação de comprimento, deve-se a uma característica do próprio material, isto é, a sua resistividade.

Recorrendo ao uso da extensometria, é possível realizar medições estáticas e dinâmicas, tendo a vantagem de não danificar o corpo a ensaiar pois apenas é necessário colar o sensor na superfície do objeto.

A resposta obtida é dada segundo um sinal eléctrico de fácil manipulação. Sabendo que o extensómetro tem um funcionamento idêntico a uma resistência e que as variações de tensão são causadas pelas deformações mecânicas, é possível obter as segundas através das primeiras. Para isso os extensómetros são integrados em circuitos do tipo pontes de Wheastone, produzindo assim o sinal eléctrico em tensão.

O sinal é tratado convenientemente através de amplificações, e filtragens através de computador, permitindo assim corrigir erros inerentes à medição, como a influência da temperatura e a resistência dos cabos e proporcionando facilidade da calibração da ponte de medição [11].

Na Figura 5.1, demonstra-se esquematicamente o sistema de aquisição de dados utilizado.

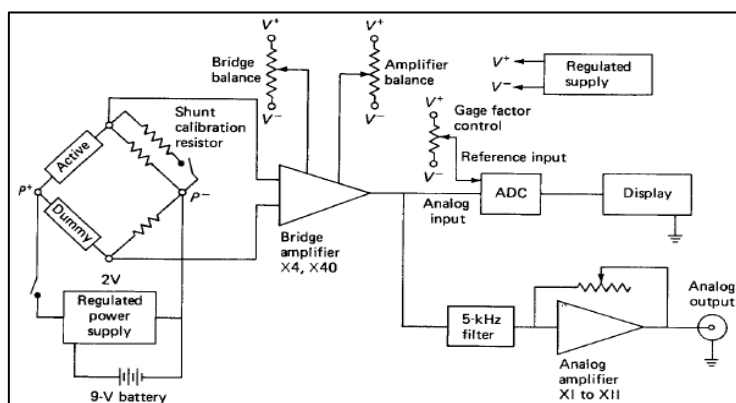


Figura 5.1 - Sistema de aquisição de dados para extensometria

Para isto é necessário utilizar um aparelho que engloba todas as características utilizadas anteriormente. A capacidade deste é muito importante, pois tem de conseguir fazer a calibração automática assim como compensar os efeitos inerentes às medições.

O aparelho utilizado foi o SCXI-1001 da *National Instruments*, onde se pode consultar as suas propriedades mais detalhadas no ANEXO B, Tabela 0.1.

## 5.2. SolidWorks®

Para a modelação das geometrias utilizadas em projeto, recorre-se hoje em dia a *software* como o SolidWorks®. Este é uma ferramenta CAD 3D, dispendo de uma vasta gama de ferramentas poderosas, facilitando em muito a prática de projeto em engenharia.

O desenvolvimento de produtos sobre uma forma 3D fornece uma melhor precessão do produto real. A criação de ficheiros numéricos com a forma dos objetos permite a utilização em outro *software*, como o Ansys®, orientado para simular o comportamento estrutural dos componentes, uma prática muito usada ao longo de todo o trabalho.

## 5.3. Ansys® v 12.0

O *software* Ansys®, pode considerar-se uma das mais importantes ferramentas para o desenvolvimento de novos componentes em engenharia. Através dele consegue fazer-se uma análise numérica detalhada de todos os componentes.

O processamento necessário consiste na importação de uma geometria, do *software* SolidWorks®, geração automática de uma malha e seguidamente através de métodos de simulação numérica determinar deformações e tensões existente nos componentes após aplicação de uma dada carga.

O método numérico utilizado é o conhecido Métodos do Elementos finitos, que decompõe os componentes contínuos numa finidade de elementos, e determina as tensões e deformações instaladas.

#### **5.4. Sistema de telemetria**

O sistema de telemetria consiste num dispositivo que permite enviar informação através de um sinal de rádio frequência. O sistema utilizado é construído pela empresa microstrain e comercializado sobre a designação de SG-Link. Este sistema aceita a ligação de 5 canais de medida sendo 4 provenientes de extensómetros e um de termopar.

Nestes sistemas existe uma frequência de sinal rádio de 2.4 GHz, entre o emissor e o recetor. Tem ainda a capacidade de mudar a frequência de amostragem, sendo para este caso utilizado uma frequência de 512 Hz.

Como o sistema tem de ser transportado pelo patinador as suas dimensões devem ser reduzidas assim como o seu peso. Este sistema dispõe então de um tamanho de 58mm x 50mm x 39mm e peso de 50g.

Para receção dos dados no computador é utilizado um *software* desenvolvido pela própria marca, de nome Node Commander<sup>®</sup>.

Mais informação do sistema pode ser vista no ANEXO B, Tabela 0.2.



## **6. Análise dos patins**

### **6.1. Estudo patim com base em alumínio**

Como se vai conseguir ver ao longo do trabalho, vão ser estudados três patins diferentes, tendo dois deles maior relevância.

O primeiro patim a estudar é construído com uma base em alumínio maquinado. Esta base confere ao patim maior robustez e certamente maior rigidez como se irá ver mais à frente.

Para o estudo do patim, realizou-se uma análise experimental que consistiu na instrumentação dos patins com extensómetros que, por sua vez, ligados a um sistema de aquisição de dados permitiu que fossem obtidas as deformações no patim.

Numa primeira parte mediram-se as deformações em regime estático, isto é, na bancada com o carregamento de pesos e numa segunda fase uma análise dinâmica, como se poderá ver mais à frente.

#### ***6.1.1. Identificação das propriedades dos materiais do patim***

Para que o estudo do patim seja realizado coerentemente, existe a necessidade de identificar as propriedades dos materiais com que este é construído.

Na imagem que se segue, é apresentada uma vista explodida do patim de base maquinada, onde se conseguem identificar todos os seus componentes.

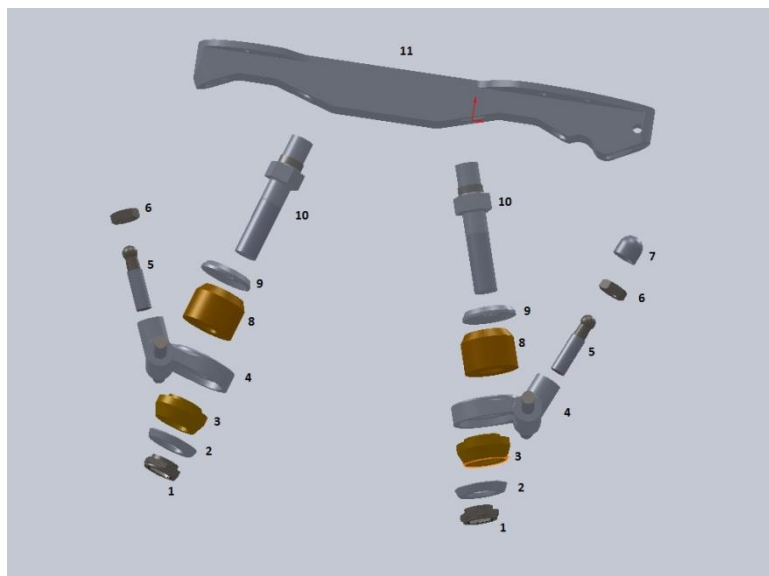


Figura 6.1- Vista explodida do patim de corpo em alumínio maquinado

A Tabela 6.1, apresentada tem a designação de todos os componentes, permitindo uma fácil identificação, sempre que desejado.

Tabela 6.1 - Componentes constituintes do patim

Tabela Componentes Patim	
Nº.	Designação
1	Porca - ISO 10511 - M12
2	Anilha Inferior
3	Borracha Inferior
4	Cruzeta
5	Fixador Cruzeta
6	Porca - ISO 4035 - M8
7	Casquilho Fixador Cruzeta
8	Borracha Superior
9	Anilha Superior
10	Parafuso Cruzeta
11	Corpo Patim

Identificados os componentes do patim, falta definir as propriedades dos materiais com os quais, este é construído.

Facilmente estas propriedades são identificadas, exceto as borrachas. O mercado dispõe de uma vasta gama de elastómeros, com propriedades bastante distintas.

Para que os erros sejam minimizados, recorreu-se a uma máquina de ensaios TIRA test2705®, onde rapidamente se chegou à propriedade de maior interesse, o *Módulo de Young* [1].

Neste ensaio, realizou-se a medição da curva tensão deformação de duas das borrachas, onde se obteve os gráficos da Figura 6.2 e da Figura 6.3 [1].

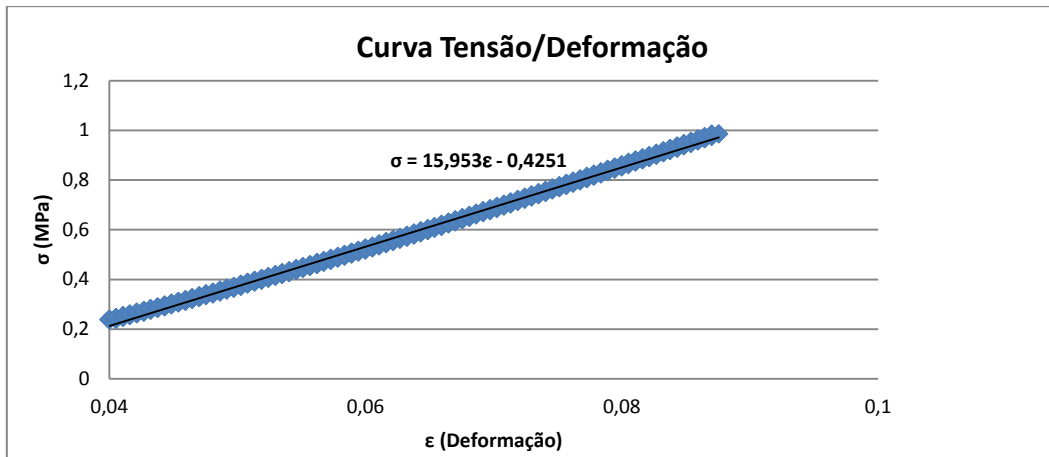


Figura 6.2 - Gráfico tensão vs deformação – Borracha 1

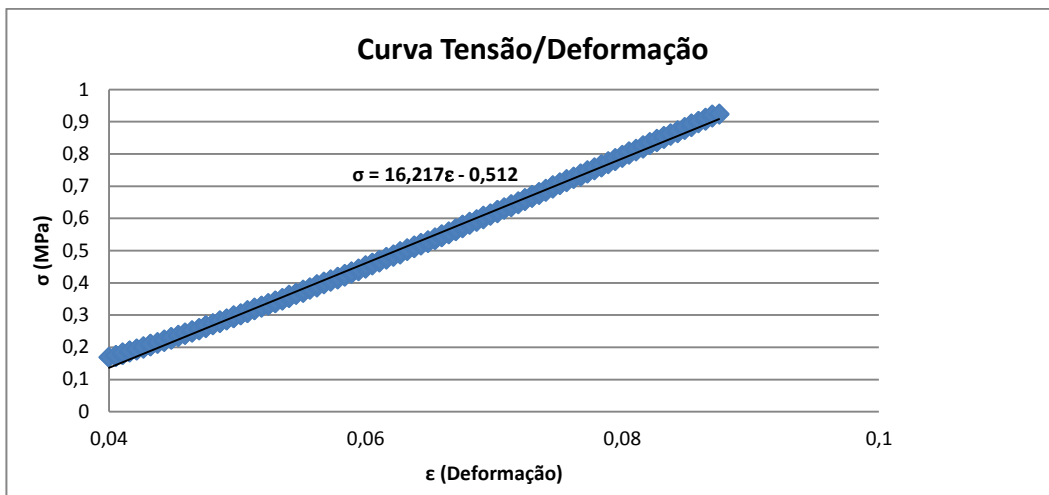


Figura 6.3 - Gráfico tensão vs deformação - Borracha 2

Como se pode ver, dentro de determinados limites, estes elastômetros apresentam um comportamento aproximadamente linear. Nos gráficos da Figura 6.2 e da Figura 6.3, são fornecidas as equações das retas, de onde através da mecânica dos sólidos, consegue-se rapidamente chegar:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

6.1

Embora utilizada a Mecânica dos Sólidos, é sabido que a equação 6.1 é para materiais como o aço.

No caso dos elastômeros a curva não tem uma configuração idêntica, embora para pequenas deformações existam muitas semelhanças. Posto isto, não se pode chamar *Módulo de Young* da borracha, mas será chamado *Coefficiente de Rigidez*.

Caso se quisesse aplicar o *Módulo de Young* seria necessário utilizar um critério que iria corrigir este módulo, pois o ensaio foi realizado à compressão tal como é aplicado o critério.

Sendo os dois valores dos declives das retas bastante aproximados, vamos admitir como o *Coefficiente de Rigidez* da borracha são *16 MPa*.

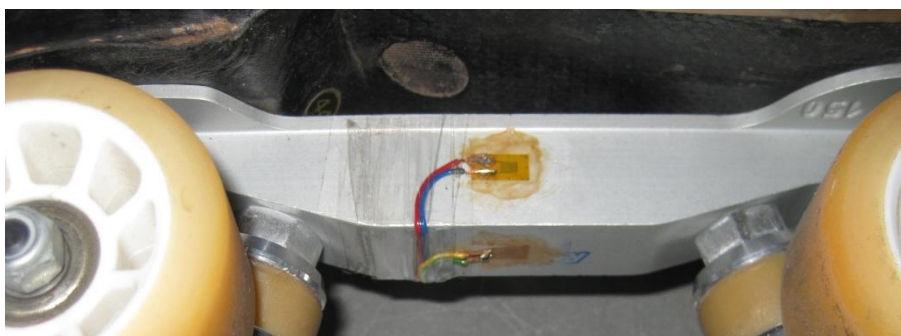
Estas propriedades terão um interesse especial mais à frente, quando se utilizar a simulação numérica, pois são necessárias as propriedades dos materiais.

### **6.1.2. Carregamento do patim**

Para ser estudado o comportamento mecânico do patim, foi necessário realizar uma análise experimental.

Para isso, foi executado um carregamento do patim em diversos pontos distintos, com diferentes massas, sendo possível obter através dos extensómetros as deformações atingidas pelo patim num ponto escolhido previamente.

O patim foi instrumentado com três extensómetros, colocados sensivelmente a meio da distância entre eixos, como se pode visualizar na Figura 6.4. Nesta figura estão apenas visíveis dois dos extensómetros utilizados.

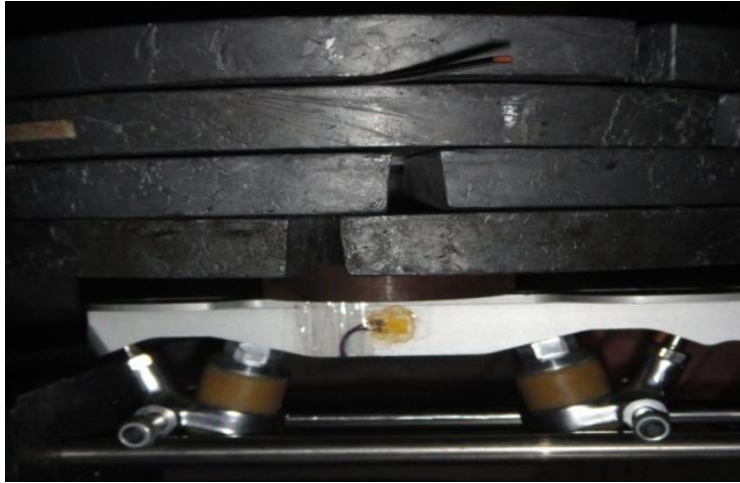


**Figura 6.4 - Extensómetros colados no patim**

#### **6.1.2.1. Carregamento do patim a meio vão**

Iniciou-se o processo experimental, com um carregamento a meio vão. Neste caso a carga foi aplicada recorrendo ao peso de conjunto de massas calibradas. A carga foi centrada no meio corpo, sensivelmente a meio da distância entre eixos, como se pode ver na Figura 6.5.

O patim foi ensaiado num suporte específico, tendo sido considerada a situação de simplesmente apoiado. Lembra-se que existe a necessidade de definir coerentemente o tipo de apoio do patim, pois é muito importante na definição das condições de fronteira para a análise numérica.



**Figura 6.5 - Carregamento a meio vão**

As massas utilizadas, vários elementos cilíndricos obtidos por fundição de chumbo e com massas de aproximadamente 10 kg, foram adicionadas sucessivamente, de forma a obter uma carga final de aproximadamente 400N (40 kg).

Para a realização experimental, recorreu-se a um sistema de aquisição por extensometria, o SCXI-1001 da *National Instruments*, onde se pode consultar as suas propriedades mais detalhadas no ANEXO B, Tabela 0.1.

A aquisição de dados realizada no carregamento traduz-se através do gráfico da Figura 6.6, onde é fornecido o valor das deformações em função do tempo e permite distinguir os valores de deformação em cada uma dos extensómetros.

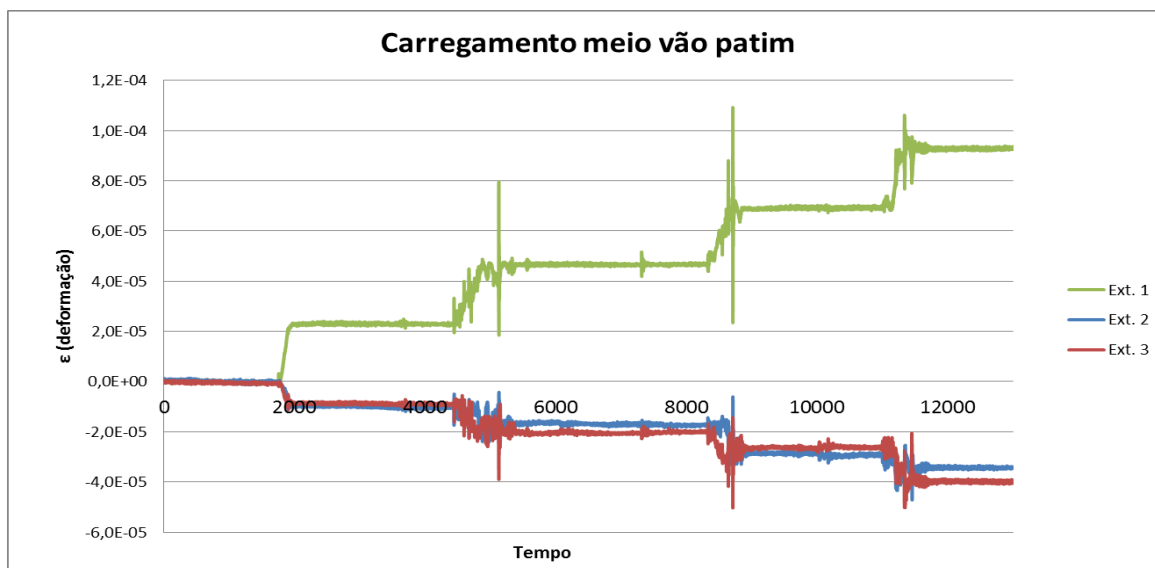


Figura 6.6 - Gráfico das deformações para o carregamento a meio vão

Na Figura 6.6, podem identificar-se quatro patamares distintos, correspondendo cada um deles a uma adição de massa, isto é, para o valor mais elevado de deformação faz-se corresponder o carregamento de 40 kg. Note-se ainda, que existem valores positivos e negativos, relativamente aos valores das deformações, devendo-se ao facto dos extensómetros estarem a trabalhar à tração ou à compressão, pois extensómetros à tração originam deformações positivas, enquanto à compressão, os valores são negativos.

Embora os valores pareçam constantes no gráfico, na realidade não o são, pois existe uma sensibilidade muito grande dos extensómetros revelada nas pequenas oscilações do sinal devidas a perturbações na bancada de ensaio.

Para obter sinais de maior estabilidade foi realizado um tratamento dos dados, por filtragem passa baixo, por forma a obter um valor médio de deformação em cada um dos patamares. Na Figura 6.7 é apresentado o exemplo de um gráfico com as deformações em bruto fornecidas pelo extensómetro 1, para um carregamento de **40 kg**. Como se pode ver, embora a amplitude do ruído esteja na dezena do microstrain, o sinal registado é um pouco ruidoso e necessitam tratamento.

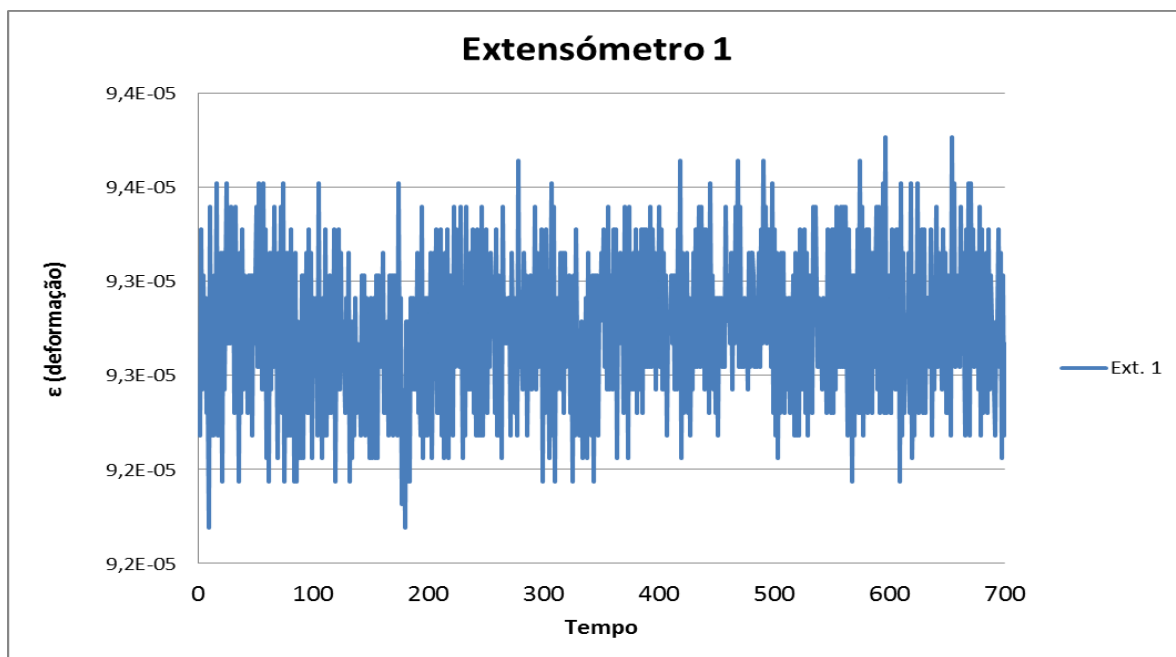


Figura 6.7 - Gráfico com patamar de deformação para 40 Kg

Ao restringindo-se o estudo a cada um dos intervalos, é possível obter valores mais coerentes. Este tratamento de dados foi realizado em cada um dos extensómetros e em cada um dos carregamentos, pois é através do gráfico que é determinado o valor médio de deformação.

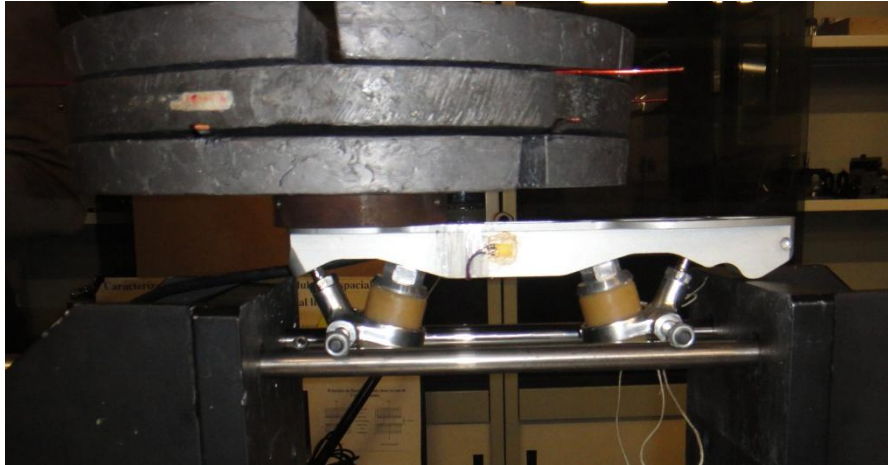
A Tabela 6.2, resume as deformações em cada extensómetro, para cada um dos carregamentos.

Tabela 6.2 - Deformações para diferentes carregamentos

Carga (Kg)	Ext. 1	Ext. 2	Ext. 3	mm
10	2,31	-0,915	-0,864	$\times 10^{-5}$
20	4,66	-1,72	-2,04	
30	6,91	-2,89	-2,62	
40	9,28	-3,43	-3,98	

### 6.1.2.2. Carregamento traseiro no patim

Aplica-se agora, um novo carregamento no patim, desta vez na zona traseira, tal como se pode ver na Figura 6.8, onde se mostra a carga imediatamente por cima da cruzeta traseira.

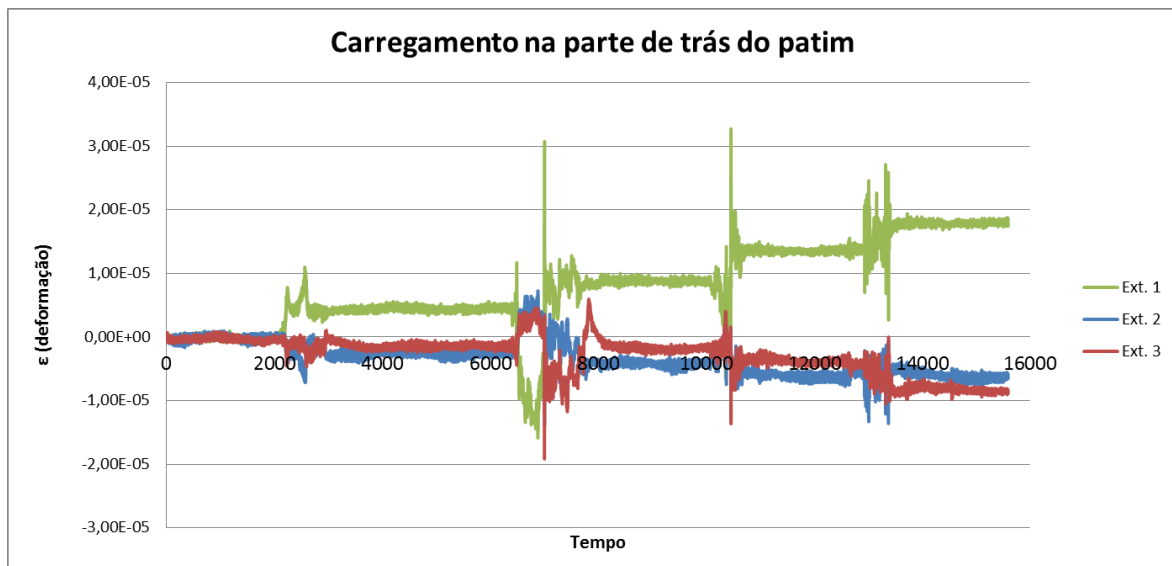


**Figura 6.8 - Carregamento sobre a cruzeta traseira do patim**

É importante conhecer as deformações atingidas na base do patim em diversas posições. Esta informação será importante para a conceção de novas bases e para uma melhor compreensão das tensões geradas durante as diversas manobras do patinador. Este componente está exposto a vários tipos de solicitações, com direções e forças distintas durante a sua utilização.

Tal, como se pode observar na Figura 6.8, o suporte de ensaio e o meio de carregamento, são idênticos ao anterior, isto é, mantêm-se as condições de carga e de fronteira

No gráfico da Figura 6.9 são apresentados os dados retirados do carregamento em cada um dos extensómetros.



**Figura 6.9 - Gráfico das deformações para carregamento na parte traseira do patim**

Analisando o gráfico da Figura 6.9 observa-se que existem uns picos de amplitude, estes picos deverão ser desprezados, pois dizem respeito ao momento do carregamento. Como foi dito anteriormente, a elevada sensibilidade dos extensómetros faz com que

sejam registadas as deformações ocasionadas no momento em que os pesos são sobrepostos.

O gráfico permite observar quatro patamares distintos, correspondendo cada um deles a um valor de peso, tal como foi verificado no carregamento a meio vão.

O tratamento dos dados é feito de forma idêntica ao carregamento anterior. Na Tabela 6.3, são demonstrados os valores obtidos.

**Tabela 6.3 - Deformações no carregamento traseiro do patim**

Carga (Kg)	Ext.1	Ext. 2	Ext. 3	
10	0,447	-0,257	-0,145	x10 <sup>-5</sup>
20	0,884	-0,423	-0,188	
30	1,35	-0,616	-0,388	
40	1,79	-0,827	-0,829	

Repara-se que os valores das deformações obtidas são inferiores aos do carregamento a meio vão, isto deve-se ao facto de o carregamento ser efetuado sobre a cruzeta, ver Figura 6.8, isto é, na zona de apoio do patim e conseqüentemente exige uma diminuição das deformações uma vez que a parte central não está em flexão.

### **6.1.3. Validação Ansys®**

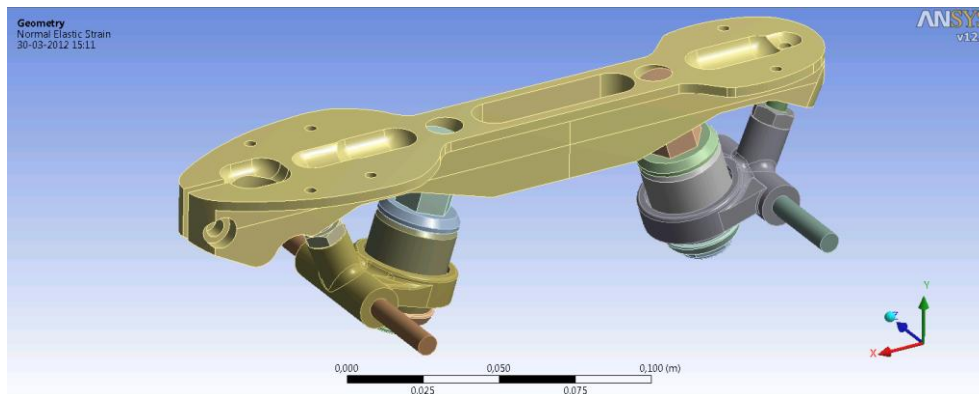
Quando se trabalha em projeto é muitas vezes complicado obter modelos físicos, protótipos, para ensaiar. Os ensaios experimentais, por sua vez, são dispendiosos e exigem mão-de-obra especializada pelo que, com vista a contornar este problema, se recorre frequentemente às simulações numérica. A fiabilidade dos programas de simulação numérica permite obter soluções com elevada relevância e evitar os custos da construção e teste de protótipos.

No desenvolvimento do patim, realizou-se primeiro uma análise experimental, podendo agora obter-se uma simulação numérica muito mais precisa. Desta forma será possível realizar vários estudos sobre o patim, ou até mesmo desenvolver e testar uma nova geometria. Para que tal seja possível é necessário realizar-se uma escolha correta dos materiais e um desenho o mais próximo possível da geometria do patim.

Foi efetuado um estudo dos possíveis materiais para esta aplicação, na Tabela 6.4 são expostas as propriedades de cada um deles, enquanto na Figura 6.10 está representado a geometria final do patim no *software* Ansys®.

**Tabela 6.4 - Propriedades dos materiais**

Material	Densidade [Kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo de Young [MPa]	Coefficiente Poisson
Aço	7850	210000	0,3
Alumínio	2700	74000	0,33
Teflon	2160	500	0,46
Borracha	1270	16	0,4

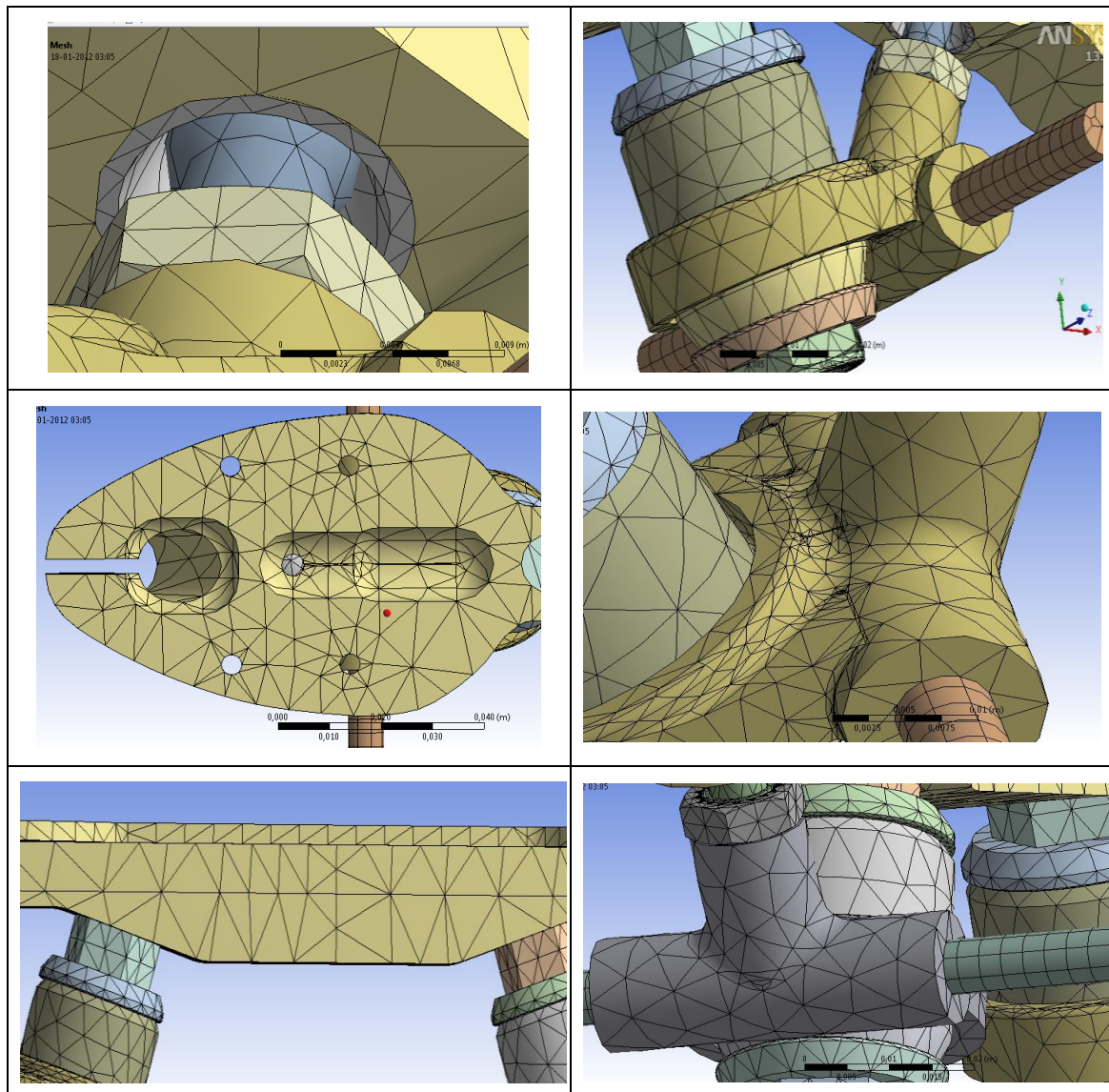


**Figura 6.10 - Geometria da base de alumínio maquinado**

Definidas as propriedades o passo seguinte passa pela geração da malha em toda a geometria, pois recorrendo à teoria dos elementos finitos, só assim é possível realizar este tipo de análise.

Na tabela da Tabela 6.5 [1] temos alguns detalhes da geração da malha em pontos diferentes no patim.

**Tabela 6.5 - Figuras com a geração de malha pormenorizada**



Da geração da malha, consegue-se as seguintes características representadas na Tabela 6.6.

**Tabela 6.6 - Caracterização da malha do patim**

Caracterização da malha	
Nós	59612
Elementos	31188
Tipo de elementos	Tetraédricos

Segue-se o mais importante da simulação, isto é, a determinação das deformações no patim. O modelo numérico utilizado além de uma geometria muito aproximada à geometria final do patim, possui também as propriedades mecânicas encontradas na bibliografia para os materiais que o constituem e as mesmas condições de fronteira e carregamento

Como foi visto anteriormente, sujeita-se o patim a vários carregamentos sobre a bancada. Estas situações foram depois simuladas no Ansys®. Recorrendo aos pontos onde estão colados os extensómetros, consegue-se rapidamente comparar os valores das deformações. Entenda-se que quanto menor o erro, melhor é a aproximação.

### 6.1.3.1. Carregamento a meio vão

Como para a validação do patim foi decidido realizar dois ensaios, um com o carregamento a meio vão e outro na parte traseira do patim, na Figura 6.11, fica a imagem do carregamento realizado em termos da simulação numérica.

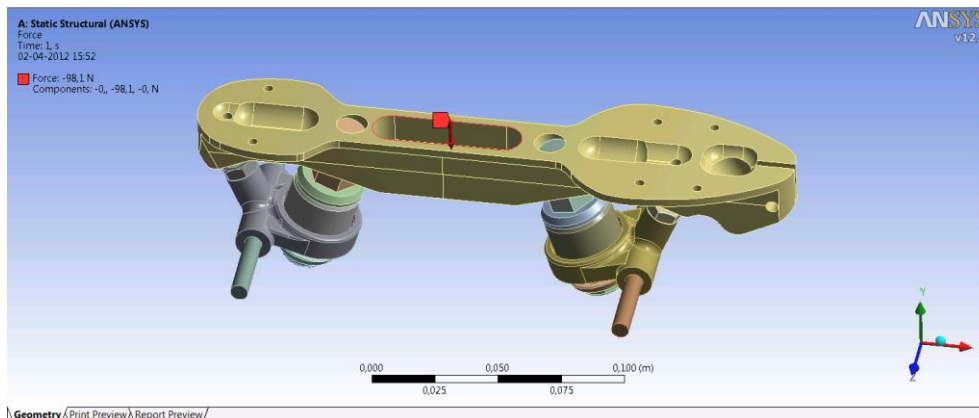


Figura 6.11 - Aplicação da carga a meio vão no Ansys

A Figura 6.12 apresenta a deformação obtida para esta geometria, estando apenas assinalado o posicionamento do extensómetro 1.

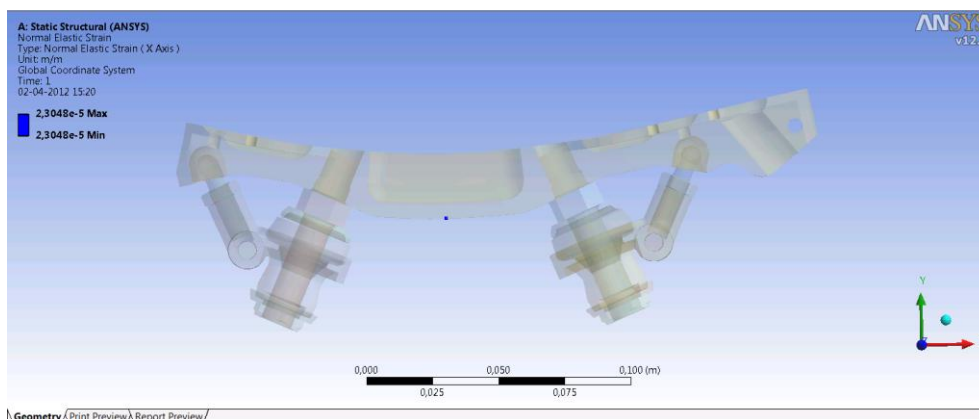


Figura 6.12 - Deformação no extensómetro inferior

Na Tabela 6.7, são apresentadas as deformações obtidas pelos extensómetros para os vários carregamentos.

**Tabela 6.7 - Deformações obtidas no Ansys para diferentes carregamentos, nos diferentes extensómetros**

Carga (Kg)	Ext.1	Ext. 2	Ext. 3	
10	2,30	-0,78	-0,79	x10 <sup>-5</sup>
20	4,61	-1,56	-1,58	
30	6,91	-2,34	-2,37	
40	9,22	-3,12	-3,16	

Como se tem vindo a falar, o objetivo é obter uma simulação numérica o mais próxima possível do carregamento real, assim se estas deformações forem idênticas ou muito semelhantes, consegue-se fazer a validação do modelo e simular vários carregamentos diretamente no Ansys<sup>®</sup>, tendo qualidade nos resultados obtidos.

Por forma a saber-se se estes resultados são fiáveis, na Tabela 6.8 apresenta-se o erro obtido em cada carregamento.

**Tabela 6.8 - Erro entre as deformações medidas e as deformações no Ansys**

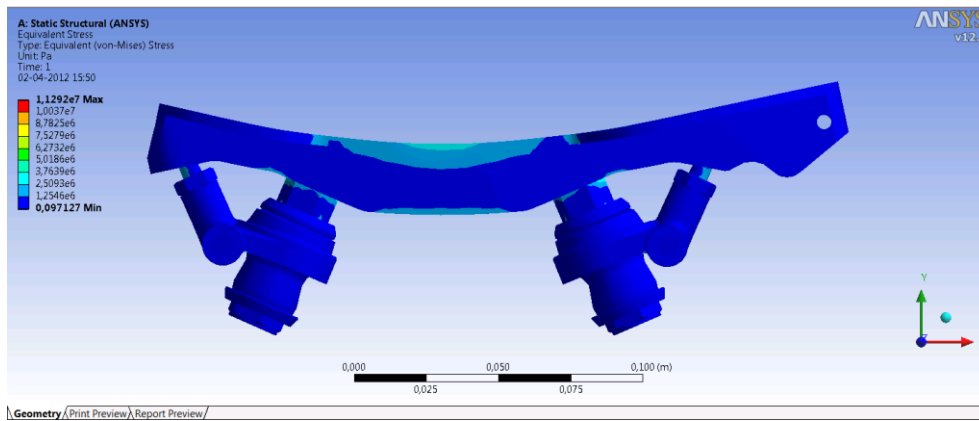
Tabela de Erro			
Carga (Kg)	Ext.1 [%]	Ext. 2 [%]	Ext. 3 [%]
10	0,2	14,9	8,5
20	1,1	9,4	22,5
30	0,1	19,1	9,5
40	0,7	9,2	20,5

Analisando cuidadosamente a Tabela 6.8, observa-se que os erros obtidos no extensómetro 1 são bastante baixos, permitindo concluir-se que a simulação obtida é bastante precisa.

Já nos extensómetros 2 e 3, os erros são bastante mais elevados. No caso destes extensómetros é complicado obter resultados de precisão, pois a identificação do local onde estes estão montados, torna-se mais complicada, provocando um aumento significativo dos erros obtidos devido as variações de geometria e consequente efeito de concentração de tensões.

Apesar das tensões, nesta fase, não serem importantes para a validação do modelo, dão a compreender quais são os pontos críticos da estrutura no carregamento e permitem escolher o material mais apropriado.

Assim, na Figura 6.13, é mostrada a distribuição das tensões ao longo de toda a geometria do patim. Mostra-se a distribuição da tensão equivalente de *Von Mises* para ter em conta o estado de tensão tridimensional em cada ponto.

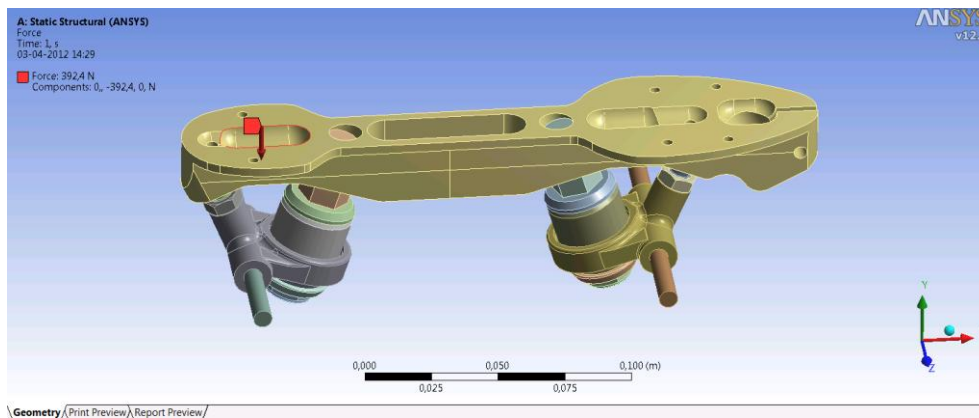


**Figura 6.13 - Distribuição das tensões de Von Mises no patim**

Analisando a Figura 6.13 conclui-se que as tensões no corpo de alumínio são baixas, o que será um ponto a considerar mais à frente no desenvolvimento de uma nova geometria.

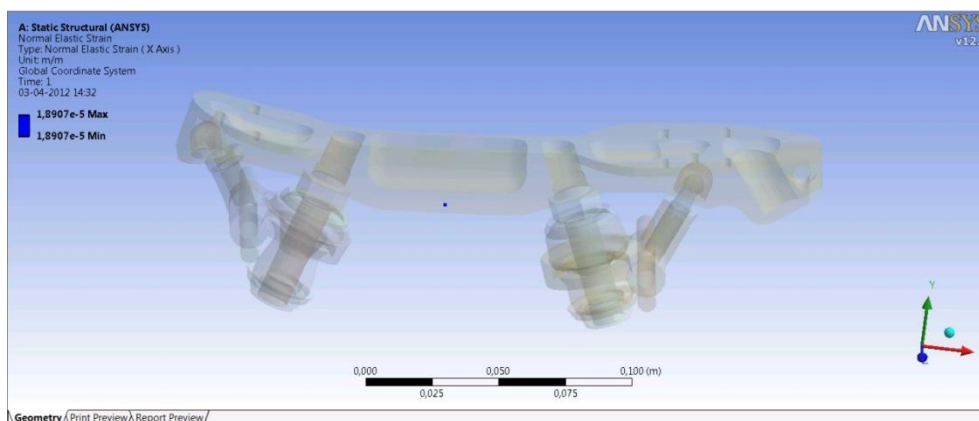
### 6.1.3.2. Carregamento traseiro no patim

O carregamento na parte de trás do patim tem igual importância na validação numérica. A Figura 6.14 mostra o modelo numérico criado para simular o carregamento feito na parte de trás do patim, isto é, sobre a cruzeta traseira.



**Figura 6.14 – Modelo utilizado para simular o carregamento traseiro no software Ansys®**

Na imagem seguinte, Figura 6.15 demonstra a deformação sofrida pelo patim, quando exposto ao carregamento na parte traseira.



**Figura 6.15 - Deformação a meio vão no extensómetro inferior**

Na Tabela 6.9, são apresentados os valores de deformações para os diferentes carregamentos e para os três extensómetros.

**Tabela 6.9 - Deformações nos carregamentos traseiros nos diferentes extensómetros**

Carga (Kg)	Ext. 1	Ext. 2	Ext. 3	
10	0,473	-0,168	-0,173	$\times 10^{-5}$
20	0,945	-0,336	-0,347	
30	1,418	-0,504	-0,525	
40	1,891	-0,672	-0,694	

Estes valores são comparados com as deformações medidas no próprio patim através do cálculo do erro relativamente ao valor medido para o mesmo ponto. A Tabela 6.10 mostra os valores de erro obtidos da comparação entre os valores calculados e os valores medidos experimentalmente.

**Tabela 6.10 - Erro dos valores medidos e os valores determinados no Ansys**

Tabela de Erro			
Carga (Kg)	Ext.1 [%]	Ext. 2 [%]	Ext. 3 [%]
10	5,7	34,7	19,6
20	6,9	20,6	84,6
30	5,0	18,2	35,2
40	5,6	18,8	16,3

Os valores de erro obtidos neste caso comparativamente com o carregamento a meio vão, são muito superiores. Estes erros devem-se possivelmente ao posicionamento da carga no patim, pois repare-se que os extensómetros 2 e 3, que supostamente deveriam ter valores próximos, Tabela 6.3, têm valores muito desfasados. Tal situação poderá resultar de um carregamento deficiente no patim. Um desalinhamento da carga pode originar esforços de torção, provocando diferentes valores de deformação, levando ao aumento do erro, o que suscita algumas dúvidas quanto à validação destes resultados.

Para correção deste problema, deveria ter sido realizado um novo ensaio em bancada.

## 6.2. Estudo do patim em base de chapa

No item anterior foi estudado um patim em corpo de alumínio maquinado. Tal como o estudo anterior, irá ser realizado o mesmo estudo num patim em chapa quinada.

Este patim tem uma base construída em chapa de alumínio quinada. Este tipo de estrutura confere maior leveza ao patim embora a sua rigidez seja diminuída.

Este tipo de patim apresenta algumas vantagens, entre os quais o processo de fabrico mais simples, o que provoca uma diminuição dos custos de produção e, consequentemente, do modelo final.

No estudo seguinte, irá verificar-se o comportamento da base em chapa quinada, quer numa análise estática, quer, posteriormente, numa análise dinâmica. Este estudo será uma boa base para a otimização desta solução dado interesse que ela possa ter no fabrico de patins de baixo custo.

### 6.2.1. Identificação das propriedades dos materiais do patim

Para realização do estudo do patim de corpo em chapa é necessário, numa primeira fase, a identificação das propriedades dos materiais com os quais o patim é construído.

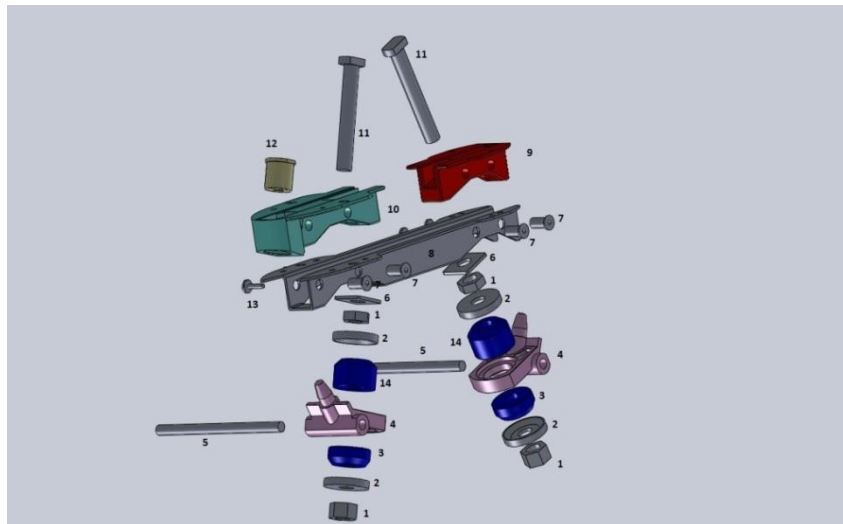


Figura 6.16 - Vista explodida dos componentes do patim em chapa quinada

Para facilitar a identificação das peças que constituem o patim, na Tabela 6.11, é apresentada a designação de cada uma das peças.

**Tabela 6.11 - Lista de componentes do patim em chapa quinada**

<b>Tabela Componentes Patim</b>	
<b>Nº.</b>	<b>Designação</b>
1	Porca - ISO 10511 - M12
2	Casquilho Plástico
3	Borracha Inferior
4	Cruzeta
5	Veio
6	Chapa
7	Casquilho Femea
8	Corpo Metálico
9	Peça Plástico 1
10	Peça Plástico 2
11	Parafuso
12	Casquilho travão
13	Casquilho Macho
14	Borracha Superior

Os materiais que constituem o patim variam desde a borracha ao aço, mas todas estas propriedades devem ser devidamente identificadas, por forma a garantir que a simulação numérica seja a mais aproximada possível.

O material de maior dificuldade em encontrar foi o Nylon. Este material é utilizado para produzir peças de elevada resistência ao impacto com produção por injeção. Este material existe no mercado com uma enorme variedade, cujo nome varia de fabricante para fabricante assim como as suas propriedades mecânicas, No ANEXO A, Tabela 0.1 mostra-se uma listagem das suas propriedades de uma material polimérico deste tipo.

Em relação às borrachas, ou elastómeros, as suas propriedades mecânicas foram definidas anteriormente, visto que são as mesmas utilizadas nos dois patins não existe a necessidade da realização de um novo ensaio.

### **6.2.2. Carregamento do patim**

Tal como foi feito anteriormente numa primeira fase do trabalho foi realizada a instrumentação de um novo patim, com vista à realização de vários carregamentos e estudar o seu comportamento.

A Figura 6.17 mostra o patim estudado e os respetivos extensómetros. Os transdutores de deformação foram colocados de forma idêntica à utilizada no caso anterior.



Figura 6.17 - Extensómetros colados no patim

### 6.2.2.1. Carregamento a meio vão

Mais uma vez se iniciou os ensaios com um carregamento central no corpo do patim. O ensaio consistiu na adição de massas de 10 Kg, sucessivamente, enquanto eram gravadas em contínuo as deformações sofridas pelos extensómetros. Estas deformações são traduzidas no gráfico na Figura 6.18.

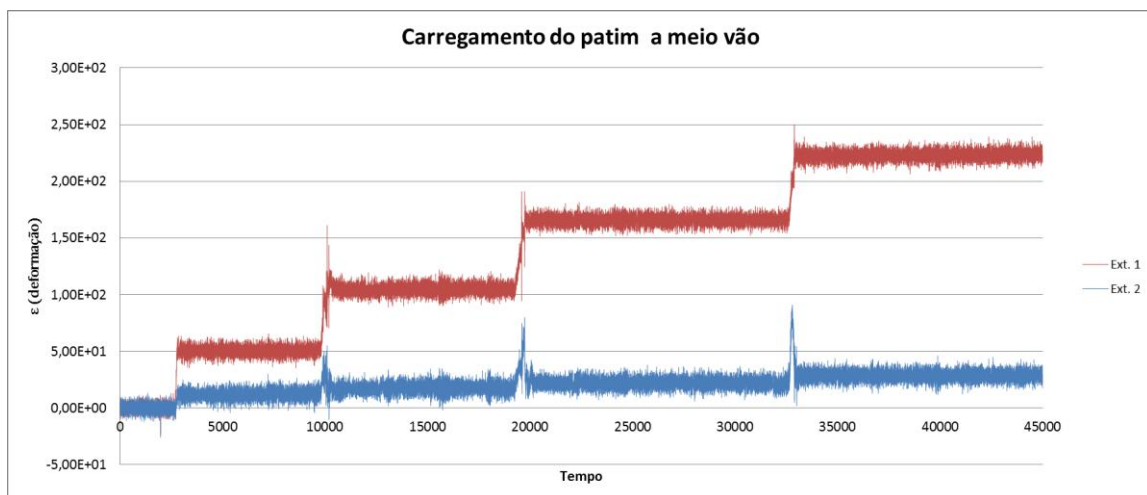


Figura 6.18 – Deformações no carregamento a meio vão

Como é possível ver no gráfico, as deformações foram registadas durante algum tempo em cada patamar e adquiridas milhares de medições. Tratando-se de um sinal com ruído verifica-se que é necessário retirar um valor médio em cada um dos carregamentos. Entenda-se que cada patamar existente no gráfico diz respeito a uma adição de massa.

O tratamento dos dados é fundamental, para isso, é estudado cada patamar de onde é retirado um valor médio de deformação. Este trabalho já foi demonstrado, no carregamento do patim de corpo em alumínio.

Como síntese dos valores retirados, é apresentada a Tabela 6.12.

**Tabela 6.12 - Deformações no carregamento a meio vão**

Carga [Kg]	Ext.1	Ext.2	
10	5,04	1,17	$\times 10^{-5}$
20	10,5	1,75	
30	16,6	2,18	
40	22,3	2,84	

Repara-se que a deformação no extensómetro 2 é muito baixa comparado com a deformação do extensómetro 1, isto indica que o extensómetro 2, está colado perto do eixo neutro do patim, para este carregamento, daí o valor de deformação ser baixo.

#### **6.2.2.2. Carregamento sobre as cruzetas do patim traseiras**

Para um estudo mais completo, foram considerados mais dois carregamentos, um na parte frontal do patim e outro na parte traseira.

Embora os ensaios tenham sido realizados, as deformações obtidas foram muito baixas, sendo estas misturadas com o ruído existente durante as medições. Este ruído afeta portanto os valores. Mesmo assim considerasse os valores da Tabela 6.13, como uma síntese das deformações médias obtidas.

**Tabela 6.13 - Deformações obtidas no Ansys no carregamento traseiro**

Carga [Kg]	Ext. 1	Ext.2	
10	0,883	0,186	$\times 10^{-5}$
20	1,84	0,535	
30	2,63	0,915	
40	3,76	1	

#### **6.2.2.3. Carregamento frontal no patim**

Para terminar a análise experimental, falta apenas o carregamento na parte frontal do patim.

Mais uma vez as deformações medidas foram bastante pequenas, isso provocou que existisse uma mistura do ruído do aparelho que as medições. As perturbações do ruído são comuns neste tipo de medições, pois oscilações da bancada entre outros fatores estão na sua origem.

Assim não serão apresentados os gráficos com as medições, mas apenas a Tabela 6.14 com um valor médio das deformações medidas.

Para melhorar este erro, novas medições deveriam ter sido efetuadas com vista a obter-se um novo gráfico com o menor ruído possível.

**Tabela 6.14 - Deformações no carregamento frontal**

Carga [Kg]	Ext.1	Ext.2	
10	0,764	0,111	$\times 10^{-5}$
20	1,65	0,202	
30	2,18	0,271	
40	3,03	0,935	

Posto isto, conhecem-se todas as deformações sofridas pelo patim, durante o carregamento. Mais à frente far-se-á uma comparação com os valores de deformações.

### 6.2.3. Validação dos modelos em Ansys®

Mais uma vez, é importante fazer uma validação dos modelos em Ansys® de todos os ensaios realizados. Isto irá permitir que se obtenha um modelo numérico, o mais aproximado possível do modelo real. Permitirá ainda que o patim seja estudado em mais detalhe sem que seja necessária uma realização experimental, para outros tipos de solicitações.

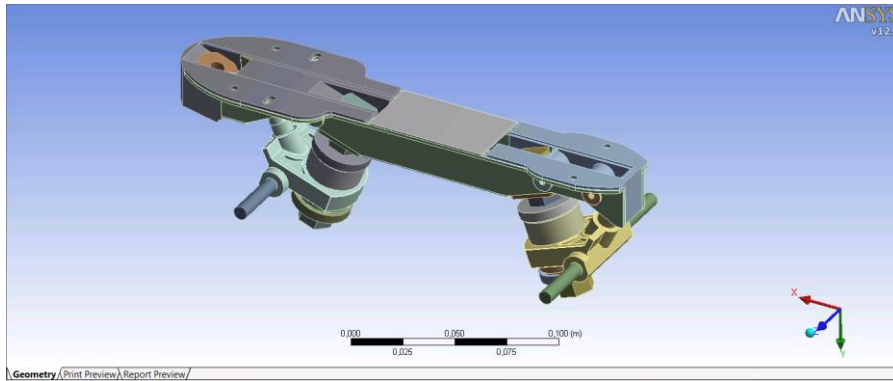
Um dos maiores problemas na geração da simulação real são as propriedades dos materiais utilizados, existe a necessidade de os ajustar coerentemente, pois muitas vezes o valor tabelado é alterado pelo processo de fabrico do material, existindo pequenas variações. Repare-se na Tabela 6.4 em que o alumínio tem um valor de *Módulo de Young* de 74000 MPa, enquanto na Tabela 6.15, apresenta um *Módulo de Young* de 69000 MPa.

Na Tabela 6.15, ficam as propriedades dos materiais utilizados,

**Tabela 6.15 - Propriedades dos materiais do patim de chapa quinada**

Material	Densidade [Kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo de Young [MPa]	Coefficiente Poisson
<b>Aço</b>	7850	210000	0,3
<b>Aluminio</b>	2700	69000	0,33
<b>Nylon</b>	1140	3100	0,35
<b>Borracha</b>	1270	16	0,4

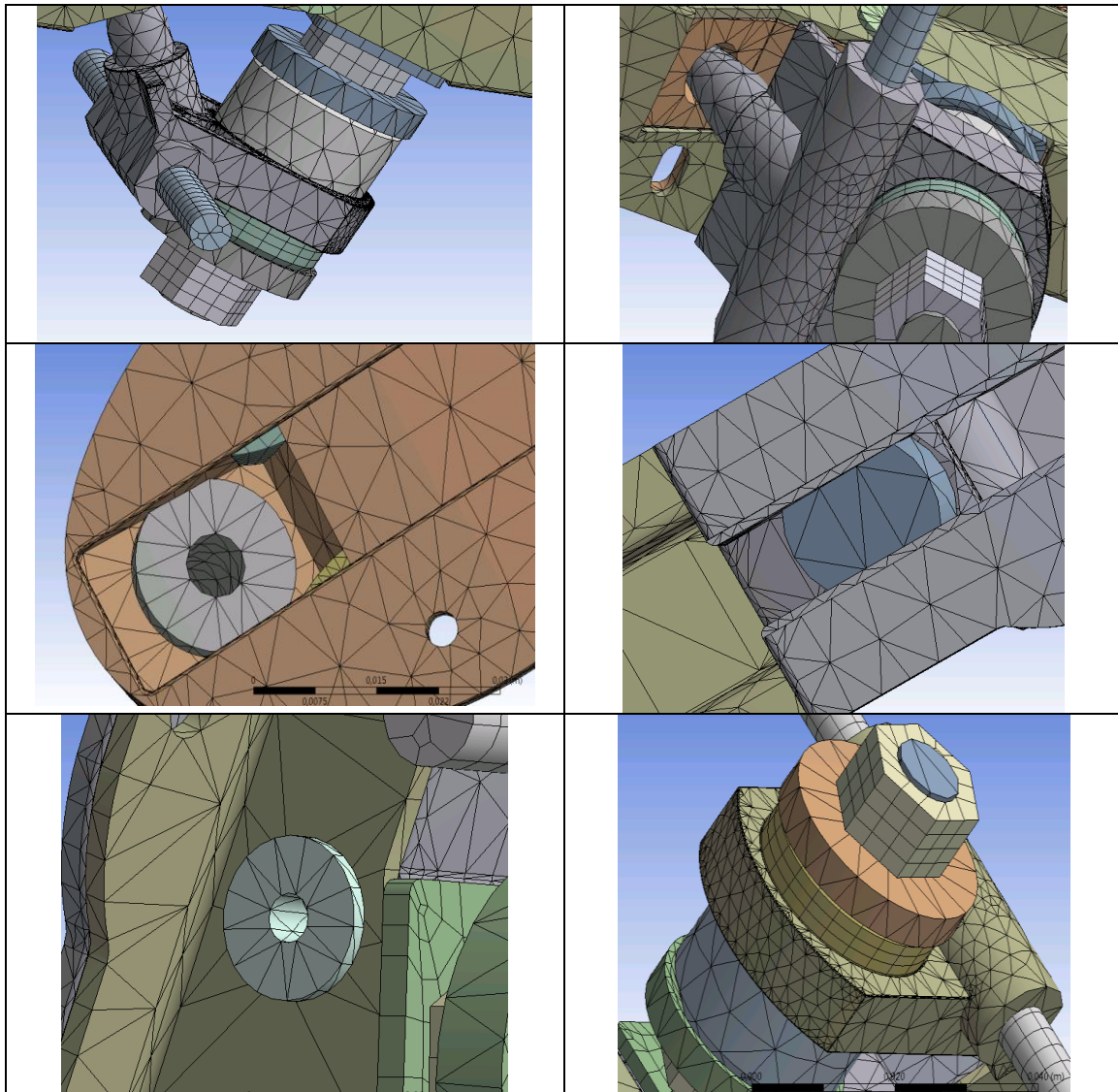
A Figura 6.19, descreve a interface de trabalho no *software* Ansys®, onde é desenvolvido o modelo do patim.



**Figura 6.19 - Geometria do patim no Ansys**

Para a modelação, antes de serem retiradas as deformações e tensões é necessário a geração de uma malha de elementos finitos. A Tabela 6.16 mostra a geração da malha automática em alguns pontos do patim.

**Tabela 6.16 - Geração da malha no Ansys, detalhes**



Após a geração da malha automática, é possível caracterizá-la na Tabela 6.17.

Tabela 6.17 - Caracterização da malha do patim

Caracterização da malha	
Nós	118056
Elementos	59182
Tipo de elementos	Tetraédricos

Construída a malha, são fornecidas as cargas e as condições de fronteira ao *software* e seguidamente são retiradas as deformações pretendidas nos locais selecionados.

### 6.2.3.1. Carregamento a meio vão

Tal como na parte experimental foram consideradas as cargas nos locais correspondentes, para isso na Figura 6.20, pode observar-se a aplicação da carga no Ansys®.

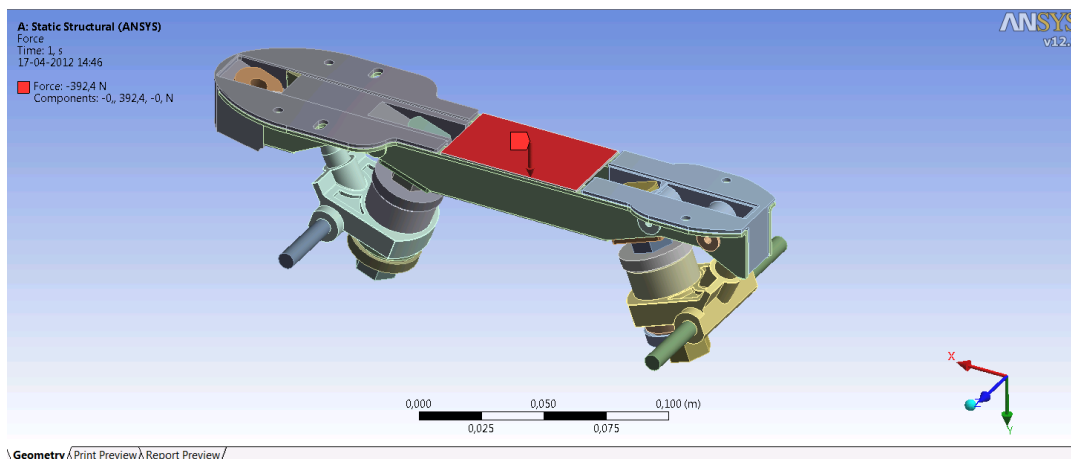
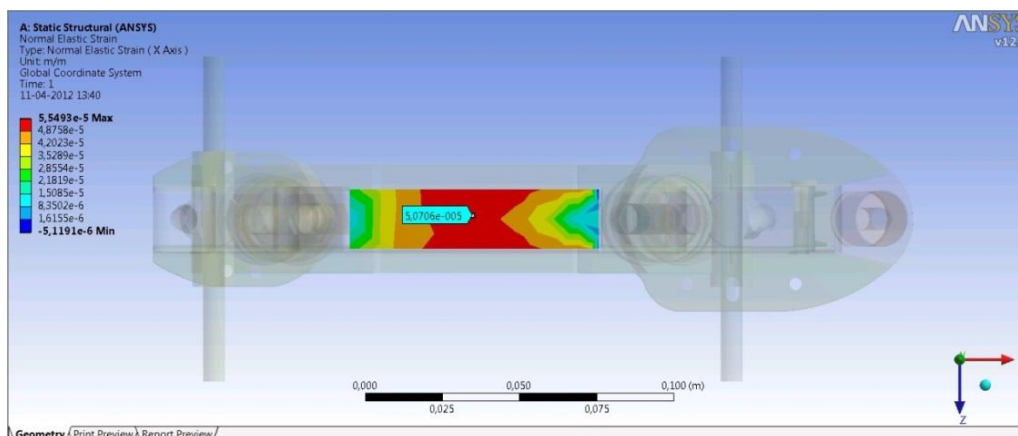


Figura 6.20 - Aplicação da força no Ansys

Assim, realizados os carregamentos semelhantes aos do ensaio experimental, obtêm-se as deformações, cuja distribuição se mostra na Figura 6.21, para um carregamento de 10 kg (aprox 100N).



**Figura 6.21 - Deformação no patim, na parte inferior**

Como é sabido os carregamentos variaram entre os 10 kg e os 40 kg, na Tabela 6.18, fica o resumo das deformações obtidas pelo Ansys® para os vários carregamentos.

**Tabela 6.18 - Tabela das deformações medidas nos locais dos extensómetros**

Carga [Kg]	Ext.1	Ext.2	
10	5,071	1,136	$\times 10^{-5}$
20	10,581	1,777	
30	15,949	2,128	
40	21,533	2,733	

Estes valores podem ser comparados aos reais através da consideração de um erro, obtido da comparação entre só valores calculados e os medidos.

Na Tabela 6.19, são expostos os erros entre as deformações reais e as deformações obtidas por simulação numérica.

**Tabela 6.19 - Erro entre as deformações experimentais e as deformações no Ansys**

ERRO [%]		
Carga [Kg]	Ext.1	Ext.2
10	0,6	2,9
20	0,8	1,6
30	3,9	2,4
40	3,4	3,8

Analisada a tabela, conclui-se que o maior erro é de 3,9%, sendo este um valor perfeitamente aceitável. Este erro pode estar associado a um mau posicionamento das massas ou a influência do ruído durante as medições, pois não se pode esquecer que é considerado o valor médio.

### 6.2.3.2. Carregamento sobre a cruzeta traseira do patim

Falta apenas a demonstração do carregamento na parte traseira do patim. Mais uma vez, foi colocada a patela no local onde o carregamento foi realizado, por forma a obter uma simulação o mais próxima possível da real.

Na Figura 6.22 é demonstrada a forma como se realizou a aplicação da carga para o carregamento em questão tendo em vista a simulação numérica do carregamento utilizado.

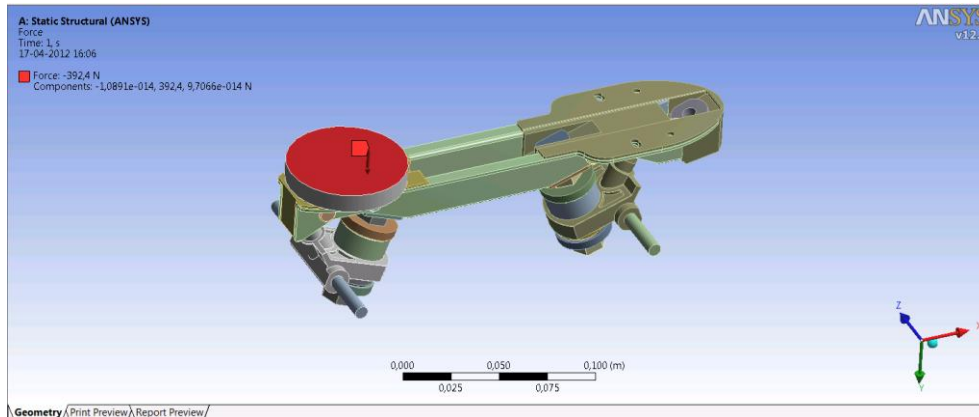


Figura 6.22 - Aplicação da carga na parte traseira do patim

A Figura 6.23 e a Figura 6.24, dizem respeito às deformações obtidas para o carregamento de 10 Kg (100N).

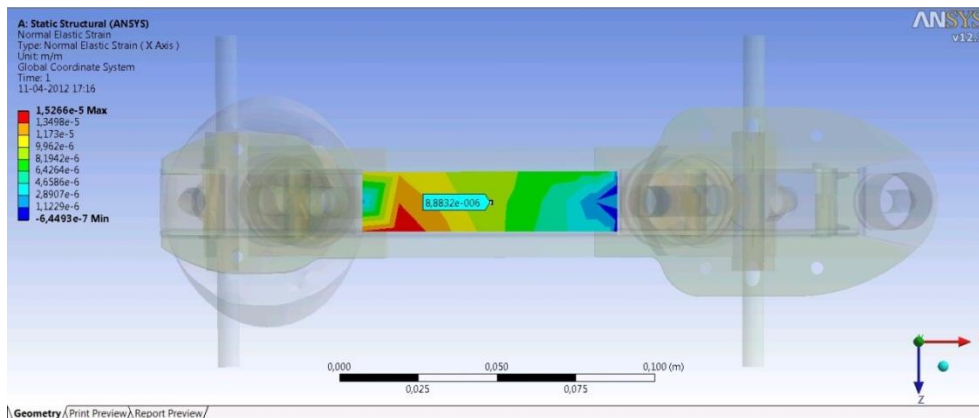


Figura 6.23 - Deformação na parte inferior do patim obtida no Ansys

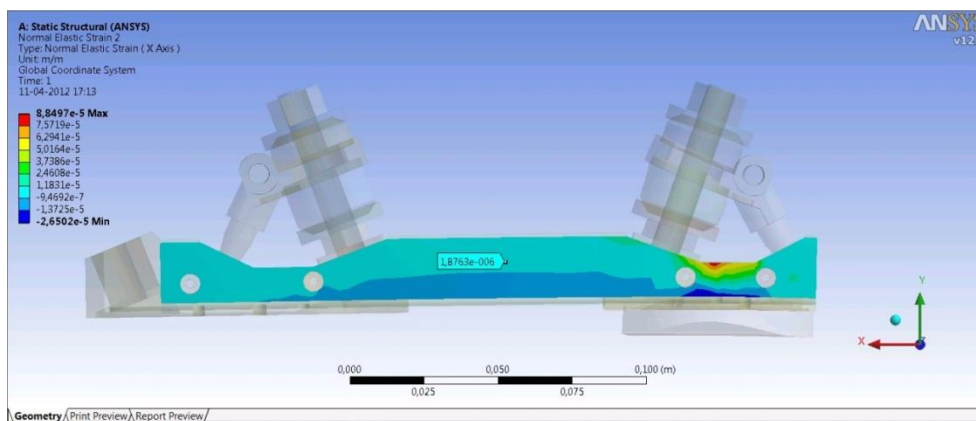


Figura 6.24 - Deformação na parte lateral do patim obtida no Ansys

Os valores das deformações obtidas para os carregamentos, são expostos na Tabela 6.20, para cada um dos carregamentos realizado.

Tabela 6.20 - Deformações no Ansys

Carga [Kg]	Ext. 1	Ext.2	
10	0,8832	0,18763	$\times 10^{-5}$
20	1,8437	0,51933	
30	2,6351	0,80612	
40	3,7018	1,0488	

Para finalizar a análise dos carregamentos, falta a quantificação dos erros das medições na simulação numérica em comparação com as deformações reais, essa quantificação é dada na Tabela 6.21.

Tabela 6.21 - Erro entre as deformações experimentais e as deformações do Ansys

ERRO [%]		
Carga [Kg]	Ext. 1	Ext.2
10	0,02	0,88
20	0,20	2,93
30	0,19	11,90
40	1,55	4,88

Um valor de 11,90% de erro é de facto um pouco elevado, mas dado que para o mesmo carregamento o erro no extensómetro 1, é de apenas 1,55%, pode-se concluir que este erro se deva a pequenas alterações durante a fase de carregamento, provocando uma torsão do patim e consequentemente uma aumento súbito de deformação.

### 6.2.3.3. Carregamento frontal patim

Outros dos carregamentos realizados foi o carregamento frontal. Para isso foi aplicada a carga na parte frontal do patim. Na Figura 6.25, demonstra a forma como o patim foi carregado para a simulação numérica.

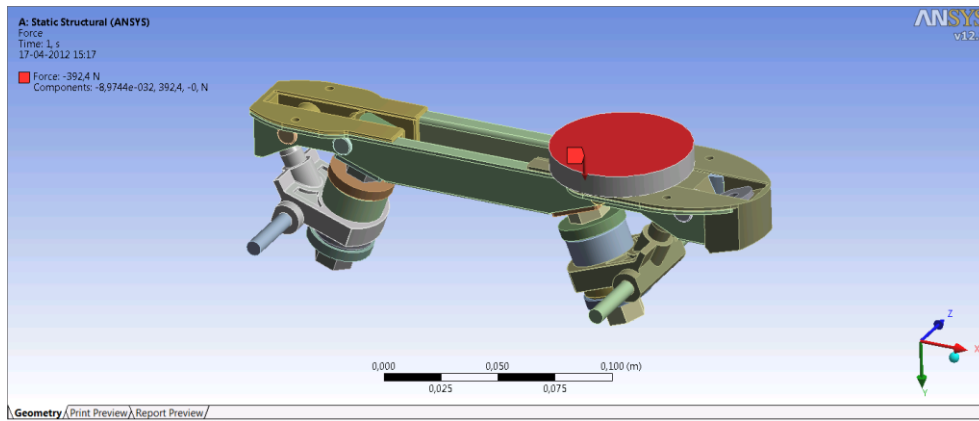


Figura 6.25 - Aplicação da carga na parte frontal do patim, modelo para o Ansys

Repara-se que na imagem tem uma patela, sobre a qual é aplicada a força. Esta patela diz respeito ao local onde foram colocadas as massas, assim se obteve uma maior aproximação na distribuição da carga.

Na imagem que se segue, Figura 6.26, fica a deformação obtida para uma carga de 10 Kg (aproximadamente), no extensómetro da parte inferior do patim, enquanto a Figura 6.27, faz referência à deformação sofrida pelo extensómetro lateral, mais uma vez para uma carga idêntica.

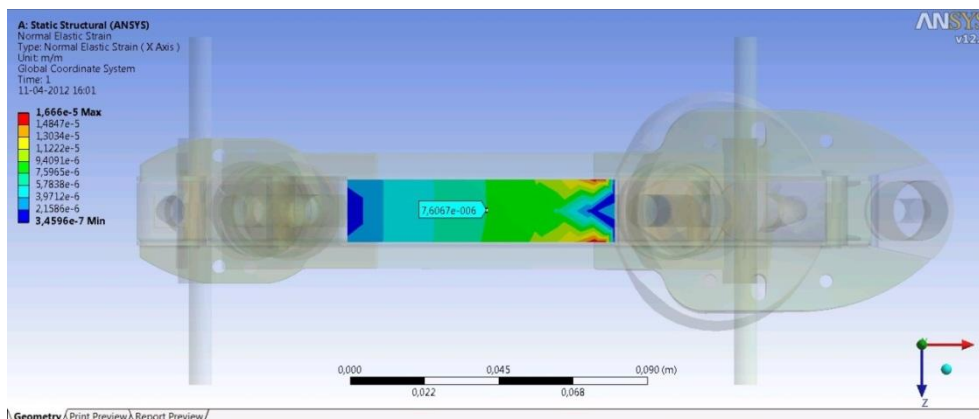


Figura 6.26 - Deformação na parte inferior do patim no Ansys

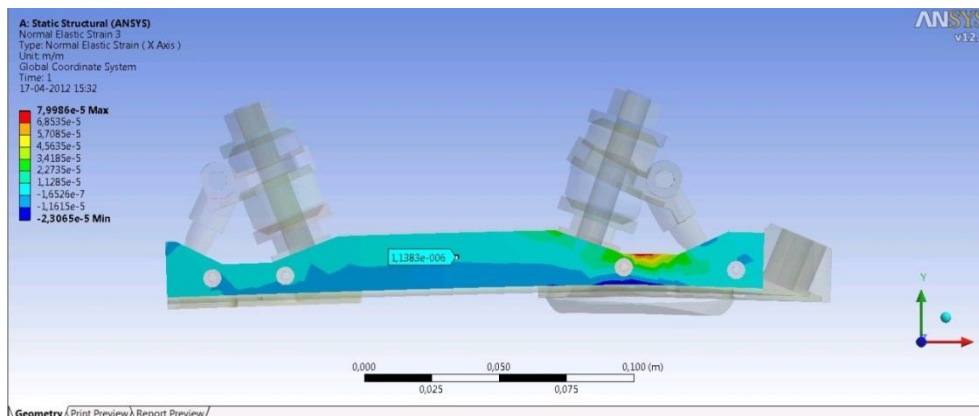


Figura 6.27 - Deformação na parte lateral do patim obtida no Ansys

Repara-se que na Figura 6.27, são visíveis duas cores bem distintas onde a parte a azul claro, as deformações são positivas, já na parte em azul mais escuro as deformações são negativas, assim poder concluir-se que a variação das duas cores diz respeito ao eixo neutro.

Mais uma vez os valores de carregamentos foram variados em patamares, na Tabela 6.22, são demonstrados os valores obtidos nos pontos de medida para cada carregamento.

**Tabela 6.22 - Deformações no Ansys**

Carga [Kg]	Ext.1	Ext.2	
10	0,76067	0,11383	$\times 10^{-5}$
20	1,581	0,19737	
30	2,187	0,27841	
40	3,0393	0,42565	

Para conclusão dos resultados obtidos, falta a estimativa do erro entre os valores reais e os valores da simulação.

Na Tabela 6.23, mostra-se o valor do erro obtido das simulações.

**Tabela 6.23 - Tabela de erro entre as deformações experimentais e as deformações do Ansys**

ERRO[%]		
Carga [Kg]	Ext.1	Ext.2
10	0,4	2,5
20	4,2	2,3
30	0,3	2,7
40	0,3	54,5

Analisando a tabela verifica-se um o erro máximo de 54,5%, este erro é bastante elevado, mas se se analisar a Tabela 6.14, repara-se que há um acréscimo acentuado da deformação no extensómetro lateral, mas o extensómetro da parte inferior tem um erro muito baixo. Este erro deve-se, possivelmente, a uma deslocação das massas de carregamento, que sujeita o patim a esforços de torsão e conseqüentemente um aumento da deformação nessa direção. Este caso é muito comum neste tipo de ensaios, pois as massas são colocadas manualmente e dado o seu peso o utilizador tem tendência a move-las num sentido menos propício aos ensaios.

### 6.3. Estudo patim base Zytel®

Para este patim, o tipo de estudo realizado é diferente aos realizados anteriormente. Irá ser analisado apenas baseado em simulações numéricas, com vista a que seja possível obter-se uma ideia do comportamento da base do patim.

Embora não haja uma componente experimental, importante para avaliar as propriedades mecânicas dos materiais, foi fornecida a ficha técnica do material do corpo do patim e com base nisso são realizadas as simulações numéricas.

### 6.3.1. Identificação das propriedades dos materiais do patim

Neste tópico serão identificados todos os componentes do patim, assim como o material com que cada um desses componentes é construído.

Na Figura 6.28, observa-se a vista explodida do patim, e de todos os componentes do patim.

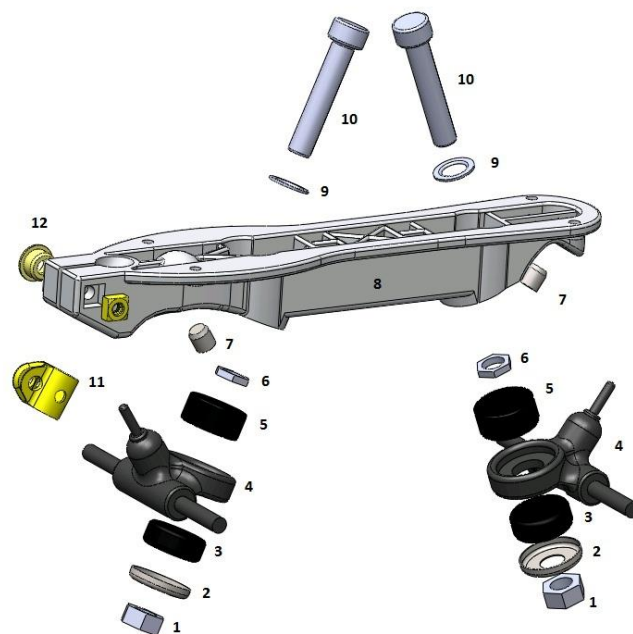


Figura 6.28 - Vista explodida dos componentes do patim com base polimérica

Na Tabela 6.24 que se segue, são identificados todos os componentes do patim, pela designação que lhe foi atribuída.

**Tabela 6.24 - Componentes do patim**

<b>Tabela Componentes Patim</b>	
Nº.	Designação
1	Porca - ISO 10511 - M10
2	Casquilho Aço
3	Borracha Inferior
4	Cruzeta
5	Borracha Superior
6	Porca - ISSO 4035 - M10
7	Casquilho guiamento
8	Corpo Zytel
9	Anilha - ISO 7089 - M10
10	Parafuso - ISO 4762 - M10
11	Casquilho guia travão
12	Casquilho aperto travão

Os materiais com que estes componentes são construídos são os mais variados, desde o aço ao Zytel<sup>®</sup>, sendo este ultimo o de maior importância, pois é utilizado na construção do corpo principal.

O Zytel<sup>®</sup> é um polímero desenvolvido pela empresa *DuPont* [12], com boas propriedades mecânicas. No ANEXO A, Tabela 0.2, pode-se consultar a ficha técnica do material, com especial importância para o *Módulo de Young*.

Note-se que os patins anteriores eram construídos com o corpo principal, em materiais metálicas, mais propriamente em alumínio. Consultando as propriedades do alumínio, isto é, o *Módulo de Young*, e comparar com o do Zytel<sup>®</sup>, observa-se que o Zytel<sup>®</sup>, tem um *Módulo de Young* cerca de dez vezes inferior ao do alumínio. Este valor terá reflexo aquando do estudo das deformações do patim, pois estando no domínio elástico, existe uma proporção entre a deformação e o *Módulo de Young*.

### **6.3.2. Carregamento patim - Ansys<sup>®</sup>**

Embora o carregamento experimental não tenha sido realizado foram feitas simulações numéricas o mais aproximadas possível das anteriores, o carregamento a meio vão, volta a ser motivo de interesse.

As propriedades dos materiais são um dos itens de maior interesse e embora não possam ser afinadas como nas simulações anteriores, foram consultadas as fichas técnicas de cada um deles, por forma a obter o menor erro possível.

Na Figura 6.21, demonstra todos os materiais constituintes deste tipo de base.

Tabela 6.25 - Propriedades dos materiais do patim

Material	Densidade [Kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo de Young [MPa]	Coefficiente Poisson
Aço	7850	210000	0,3
Aluminio	2700	70000	0,33
Zytel®	1090	1900	0,35
Borracha	1270	16	0,4

Apresentadas as propriedades dos materiais utilizados, na Figura 6.29, fica o modelo analisado no Ansys®.

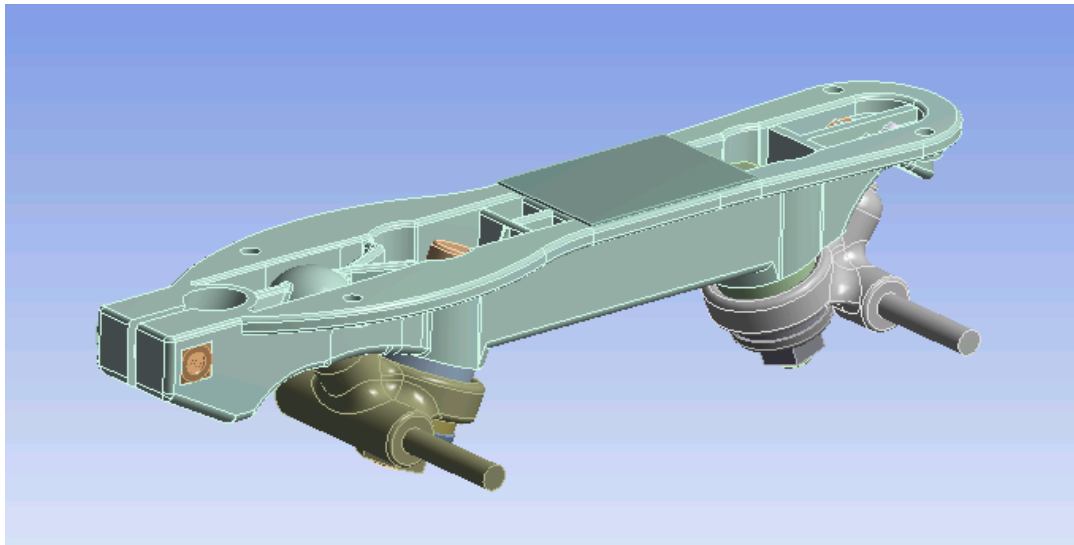


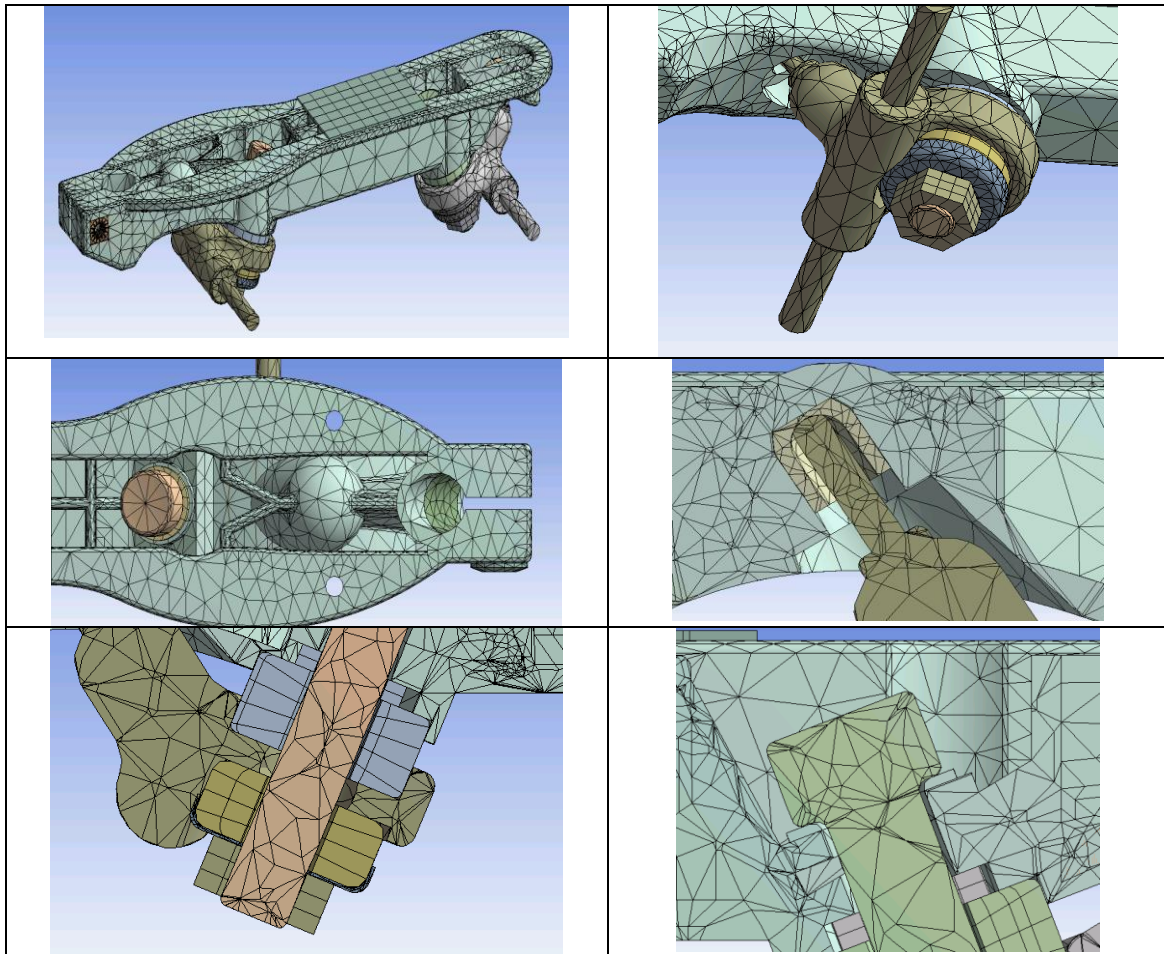
Figura 6.29 - Geometria do patim construída por injeção de Zytel®

Repare-se que no modelo existe uma chapa que faz contacto com a bota e corresponde à área de carregamento do patim.

Outro aspeto já salientado nas outras simulações e que não poderia passar em vão nesta, é a geração da malha. Embora esta seja gerada automaticamente pelo programa, sem ela não existira a simulação por elementos finitos.

Na Tabela 6.26, são apresentados os pormenores da geração da malha do patim.

Tabela 6.26 - Malha pormenorizada



Falta ainda caracterizar a malha, com o seu número de nós, número de elementos e tipo de elementos, como se pode ver na Tabela 6.27.

Tabela 6.27- Caracterização da malha do patim

Caracterização da malha	
Nós	81182
Elementos	37366
Tipo de elementos	Tetraédricos

A complexidade da geometria e os vários componentes do patim obrigam à utilização de malhas mais complexas, como se mostra na tabela anterior.

### 6.3.2.1. Carregamento a meio vão

Para o carregamento a meio vão, tal como o próprio nome indica, a força é descarregada sobre o meio do patim. Isso obrigará o corpo a fletir, com uma configuração aproximada a uma viga.

Na Figura 6.30 que se segue, é apresentado o carregamento que foi aplicado no patim.

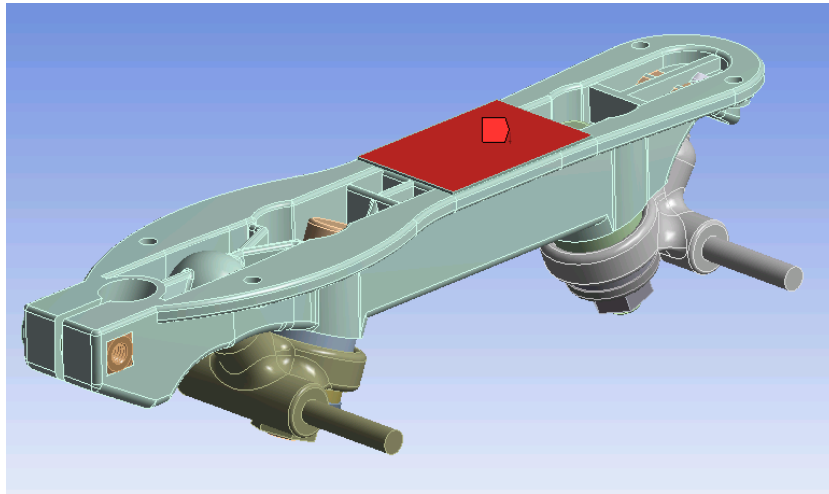


Figura 6.30 - Carregamento do patim utilizado no Ansys

Realizado o carregamento e definido o patim como simplesmente apoiado, tal como nos outros carregamentos, são medidas as deformações no patim, para vários valores de carga.

Na Figura 6.31, mostra-se a forma como o patim deforma. Mediante estes resultados obtiveram-se os valores das deformações no local onde estavam colados os extensómetros, para fazer a comparações devidas com os patins anteriormente analisados.

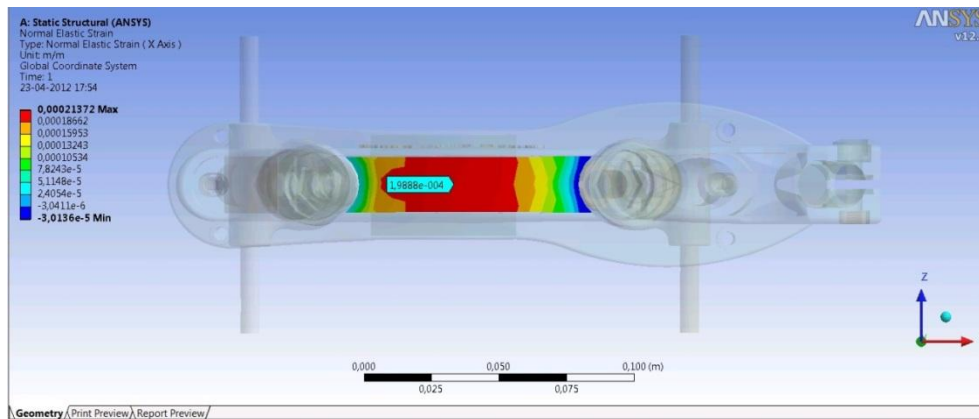


Figura 6.31 - Deformação do patim obtida no Ansys

Como os carregamentos foram vários, na Tabela 6.28, são apresentados os valores para os respetivos carregamentos.

Tabela 6.28 - Deformações calculadas no Ansys

Carga (Kg)	Ext.1	Ext. 2	
10	1,9888	0,55892	$\times 10^{-4}$
20	3,9998	1,062	
30	5,9786	1,7104	
40	7,9855	2,2663	

Numa análise em relação às deformações medidas nesta tabela, concluiu-se que as deformações são cerca de dez vezes maiores que nos casos anteriores.

#### 6.4. Aquisição de dados por Telemetria

Para que se consigam saber os esforços que ocorrem no patim durante a patinagem, é necessário inferi-los através da medição das deformações. Para isso, recorreu-se a um sistema de telemetria, que fornece as deformações no patim em tempo real, permitindo saber os esforços que ocorrem no patim, em diferentes situações.

Para a realização experimental, foi necessário utilizar os patins instrumentados e um patinador que realizou um determinado percurso com diferentes manobras, onde com a ajuda de um vídeo se conseguiu fazer uma correspondência sobre qual a manobra que provoca certo tipo de deformações.

A Figura 6.32 e a Figura 6.33 mostram os patins utilizados para a realização dos ensaios.



Figura 6.32 - Patim base em alumínio maquinado com sistema de telemetria

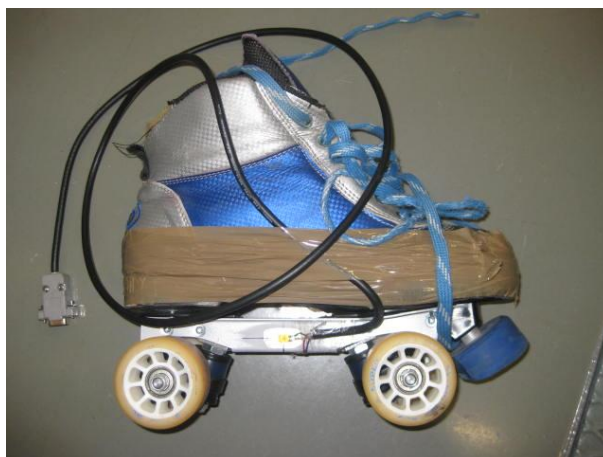


Figura 6.33 - Patim base em chapa quinada com sistema de telemetria

#### 6.4.1. Análise das deformações no patim com corpo maquinado em alumínio

O primeiro patim a analisar será o construído com o corpo em alumínio obtido por maquinagem.

Este patim foi solicitado com várias manobras, como travagens, arranques em calços e saltos, mas as maiores deformações fizeram-se sentir durante as travagens.

A aquisição de dados fez-se através das deformações dadas pelo sistema de telemetria, construído pela empresa *Microstrain* e comercializado sobre a designação de *SG-Link*, assim com este sistema recolheram-se os dados durante determinado período de tempo, tal como poderemos ver na Figura 6.34.

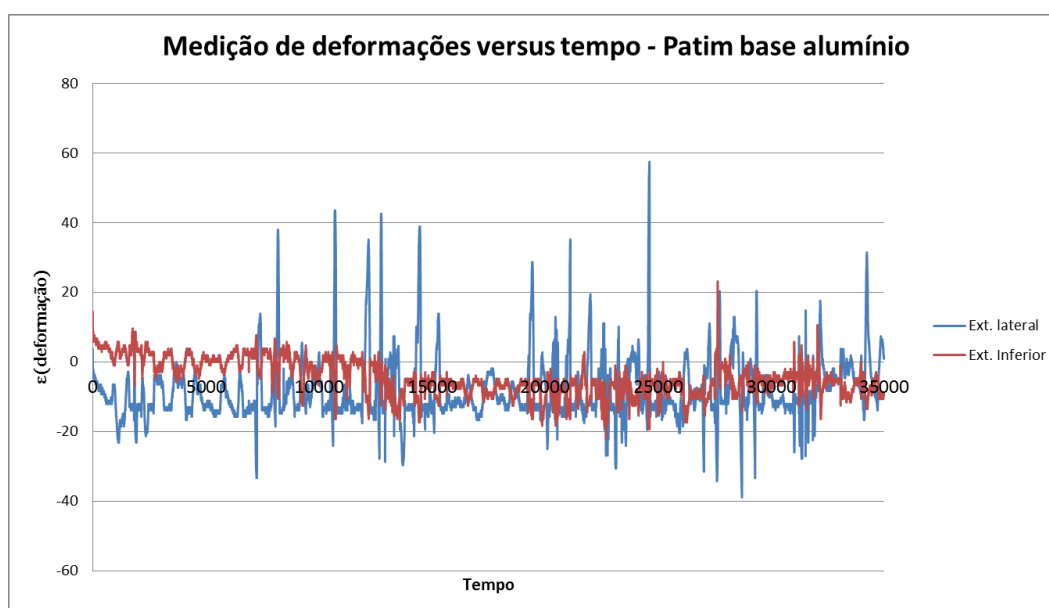


Figura 6.34 - Gráfico das deformações adquiridas através do sistema de telemetria - Patim base alumínio maquinado

No gráfico da Figura 6.34, mostram-se os valores obtidos nas medições feitas sobre o patim, correspondendo cada uma das linhas a uma canal distinto. A linha azul corresponde ao extensómetro lateral, isto é, o extensómetro colado na parte lateral da base do patim, enquanto a linha a vermelho corresponde ao extensómetro colado na parte de baixo da base.

Analisando-se o gráfico é de notar os pontos de maior deformação sendo esses os de maior importância. São estes os pontos a ter em consideração no desenvolvimento de uma nova base, pois é onde ocorrem as maiores tensões.

Para um melhor estudo é necessário saber-se as tensões instaladas, recorrendo-se para isso ao mais uma vez ao Ansys<sup>®</sup>, onde se realiza a simulação numérica.

No Ansys<sup>®</sup>, aplicam-se as forças desenvolvidas pelo patim e determinar-se as deformações correspondentes, tendo em conta as propriedades dos materiais já determinadas na análise estática.

Para determinar os valores das forças, recorrem-se aos gráficos da Figura 6.35 e da Figura 6.36.

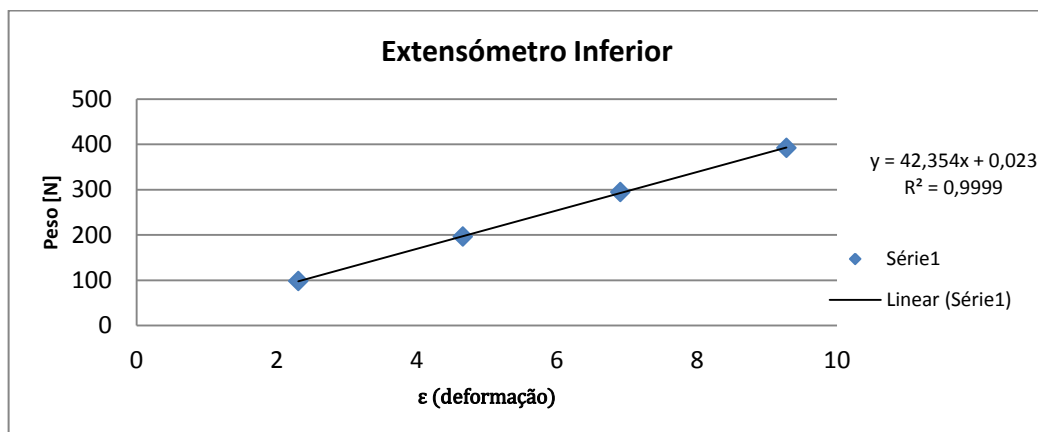


Figura 6.35 - Gráfico com a equação da força vs deformação no extensómetro inferior

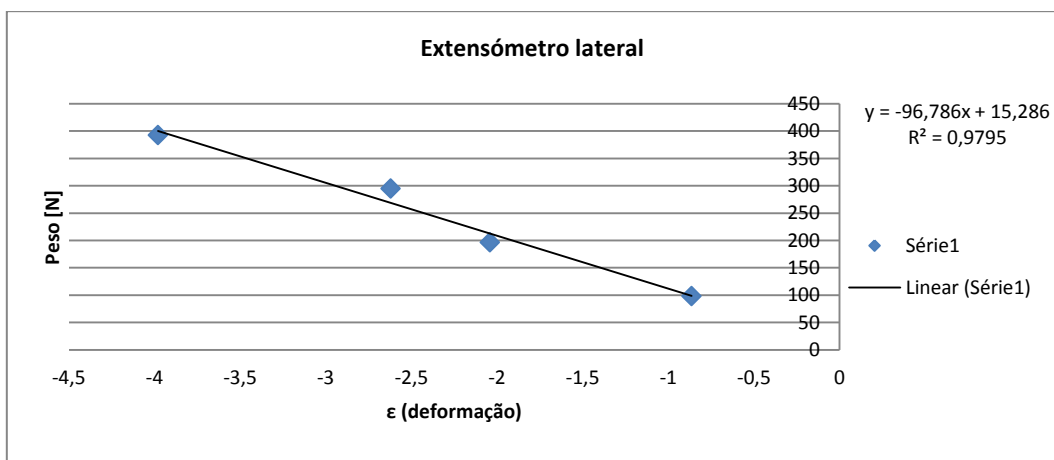


Figura 6.36 - Gráfico com a equação da força vs deformação no extensómetro lateral

Os gráficos da Figura 6.35 e da Figura 6.36 fazem a correspondência peso em função da deformação. Estes gráficos foram obtidos na análise estática no ponto 6.1.

Assim, recorrendo às equações, determina-se a intensidade da força, podendo depois realizar uma simulação por elementos finitos.

Os valores de força usados fazem-se corresponder aos dois picos de deformação, um no extensómetro inferior e outro no extensómetro lateral.

Na Tabela 6.29, são apresentados os valores das deformações e das respetivas forças.

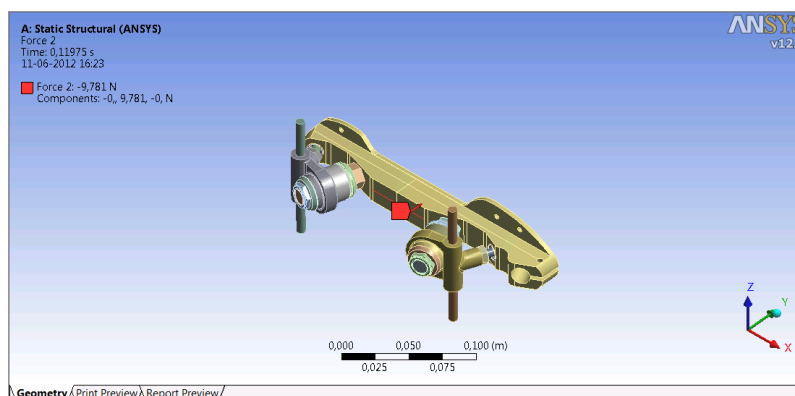
**Tabela 6.29 - Deformações e forças desenvolvidas pelo patim**

Máximo Extensómetro Inferior				
	Deformação		Força [N]	
Ext. Inferior	23,149	x10 <sup>-6</sup>	-97,41	FY
Ext. lateral	-23,157		-239,413	FZ
Máximo Extensómetro Lateral				
	Deformação		Força [N]	
Ext. Inferior	-19,291	x10 <sup>-6</sup>	81,68	FY
Ext. lateral	57,429		540,46	FZ

Determinadas as forças, podem-se realizar as simulações numéricas, como será apresentado seguidamente.

Para isso, são aplicadas as cargas na geometria de forma a obter-se um valor de deformação mais próximo do real, isto permite para além de saber as deformações e tensões em qualquer região do patim, saber como se distribui a força na base.

Na Figura 6.37 e na Figura 6.38, mostra como foram aplicadas as forças, para determinação das deformações.



**Figura 6.37 - Aplicação da carga no Ansys FY**

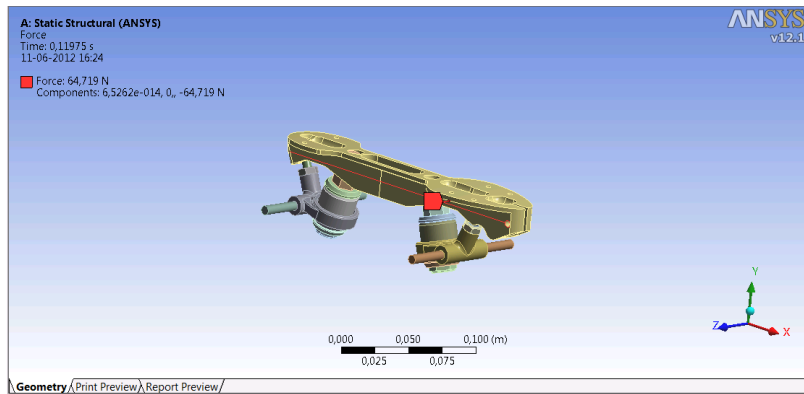


Figura 6.38 - Aplicação no Ansys FZ

Aplicadas as forças ao corpo, e seguindo o procedimento já falado na análise estática, como a geração da malha e aplicação das condições de fronteira, os resultados obtidos são as deformações. Na Figura 6.39, mostram-se apenas a deformação de um dos quatro casos estudados.

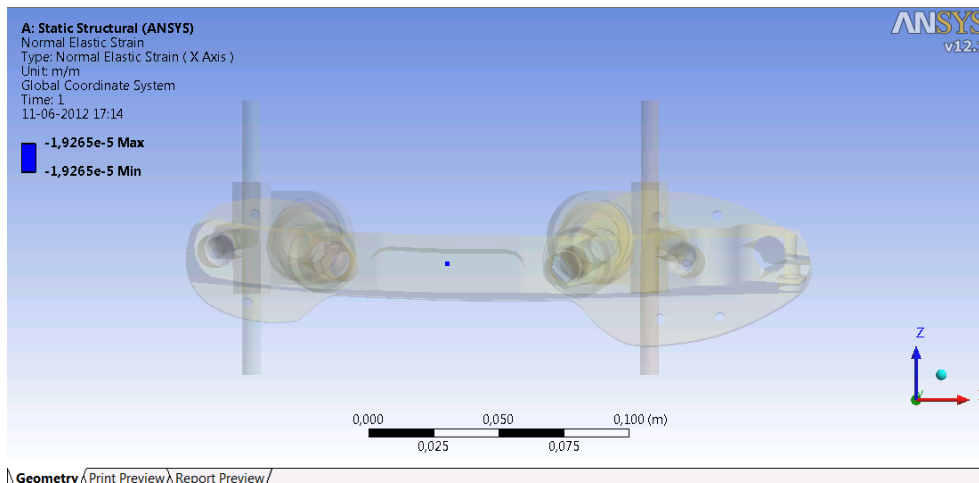


Figura 6.39 - Deformação no extensómetro inferior obtida no Ansys

Na Tabela 6.30 são apresentadas as deformações obtidas nos respetivos pontos de estudo, assim como os erros obtidos, entre as deformações reais e os valores obtidos no Ansys®.

Tabela 6.30 - Erro das deformações experimentais e as deformações no Ansys

	Máximo Extensómetro Inferior		Máximo Extensómetro Lateral		
	Ext. Inferior	Ext. Lateral	Ext. Inferior	Ext. Lateral	
Telemetria	23,149	-23,1568	-19,291	57,42886	$\times 10^{-6}$
Ansys	23,111	-22,111	-19,265	57,303	
Erro [%]	0,16	4,52	0,13	0,22	[%]

Analisando os erros obtidos e tendo como taxa máxima de erro 10%, então os valores podem ser considerados bons, pois três deles estão bastante abaixo do valor máximo permitido.

#### 6.4.2. Análise das deformações no patim corpo em chapa

Como se tem visto ao longo deste trabalho tem-se referido duas bases de patim, visto que a análise com o sistema de telemetria já foi medida anteriormente, neste item, irá ser analisada a base em chapa quinada.

Mais uma vez, para análise das deformações sofridas pelo patim durante a patinagem, utilizou-se um patinador que patinou durante um determinado tempo, realizando vários tipos de manobras, como travagens, saltos e arranques que permitiu saber para cada uma destas solicitações quais as deformações obtidas.

No gráfico da Figura 6.40, são mostradas as deformações sofridas pelos extensómetros, estando um colado na parte debaixo da base do patim e outro na parte lateral.

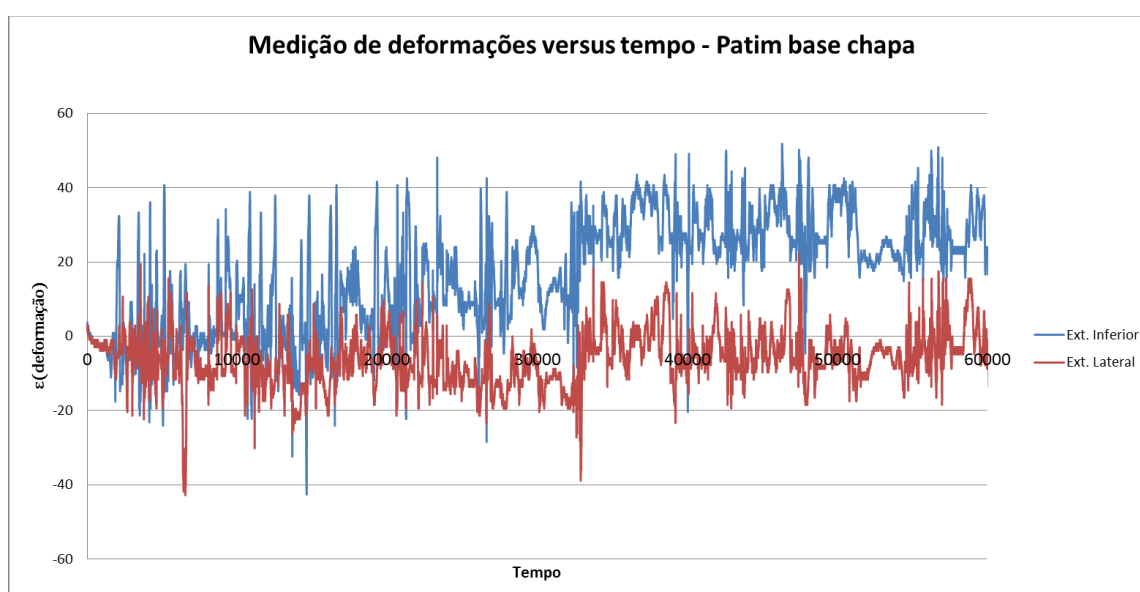


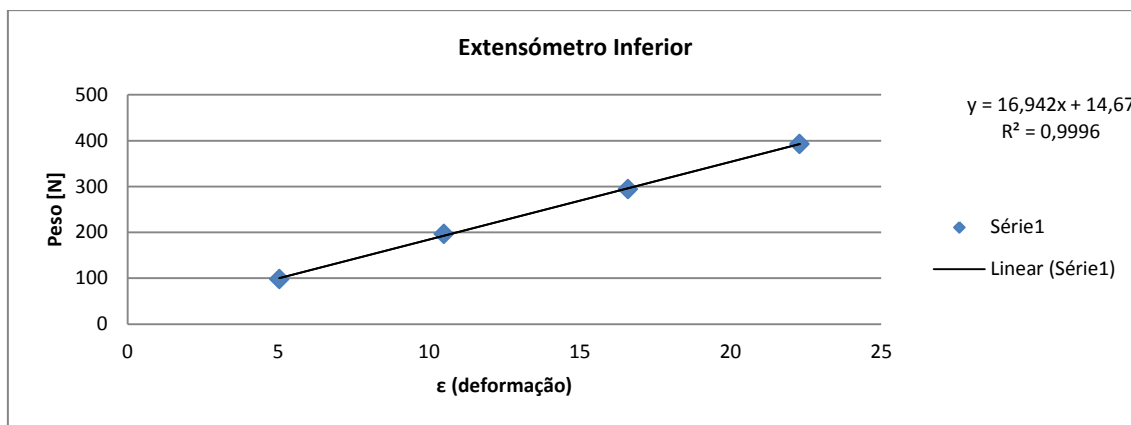
Figura 6.40 - Gráfico das deformações adquiridas através do sistema de telemetria - Patim base chapa quinada

Analisando o gráfico cuidadosamente, existe um súbito crescimento do valor medido, no que se refere ao extensómetro inferior. Esta subida deveu-se à quebra do fio de ligação ao extensómetro, o que invalida os dados obtidos desse ponto para a frente. Assim, para a análise trabalha-se entre as 0 e as 30000 medições de tempo sabendo-se que o sistema mede a uma frequência de 512 Hz.

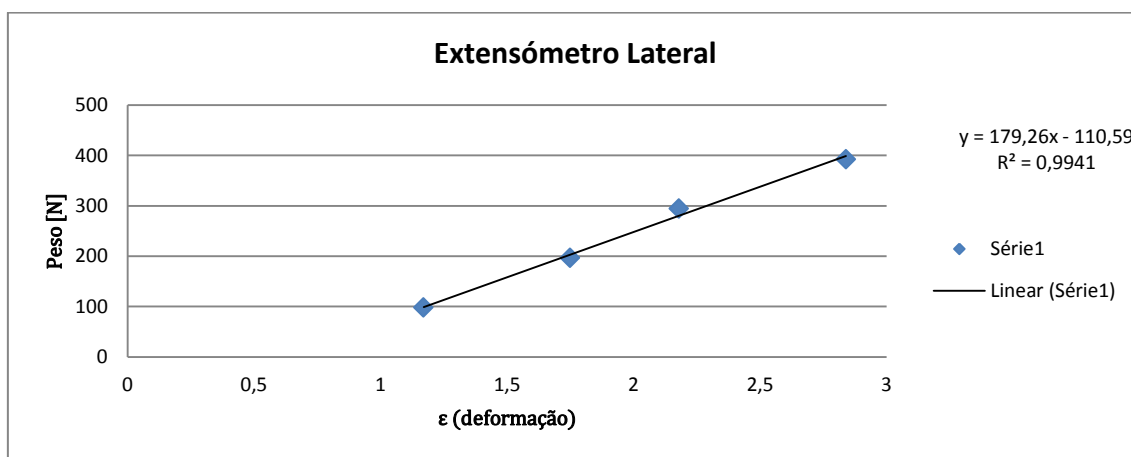
Mais uma vez, o maior interesse das deformações, é a determinação das forças aplicadas ao patim, para se efetuar uma validação dos esforços no *software* Ansys<sup>®</sup>.

Para se determinar o valor das forças é necessário as retas que relacionam a força com a deformação. Essas retas são traçadas em funções dos ensaios estáticos já realizados no ponto 6.2.

Os gráficos da Figura 6.41 e da Figura 6.42, ditam a relação entre a deformação e a força para cada um dos extensómetros.



**Figura 6.41 - Gráfico com a equação da força vs deformação no extensômetro inferior**



**Figura 6.42 - Gráfico com a equação da força vs deformação no extensômetro lateral**

Embora os valores das deformações obtidas sejam de milhares, interessa apenas analisar as maiores deformações, pois são estas que impõem maiores tensões no patim.

Assim, irá ser estudado o maior valor de deformação no extensômetro inferior e o maior valor e deformação no extensômetro lateral.

Na Tabela 6.31, são então identificados esses valores de deformação e as consequentes forças obtidas.

Tabela 6.31 - Deformações e forças desenvolvidas pelo patim

Máximo Extensômetro Inferior				
	Deformação		Força [N]	
Ext. Inferior	48,166	x10 <sup>-6</sup>	-96,27	FY
Ext. lateral	0,973		93,2	FZ
Máximo Extensômetro Lateral				
	Deformação		Força [N]	
Ext. Inferior	17,599	x10 <sup>-6</sup>	-44,486	FY
Ext. lateral	-42,794		877,71	FZ

Determinadas as forças, terá de ser feita a simulação nos elementos finitos, através do *software* Ansys<sup>®</sup>, tendo para isso que aplicar a força coerentemente, assim como gerar a malha e a definição das condições de fronteira semelhante ao ensaio experimental.

A Figura 6.43 e a Figura 6.44, mostram a aplicação das forças segundo as respetivas direções para um dos casos estudados.

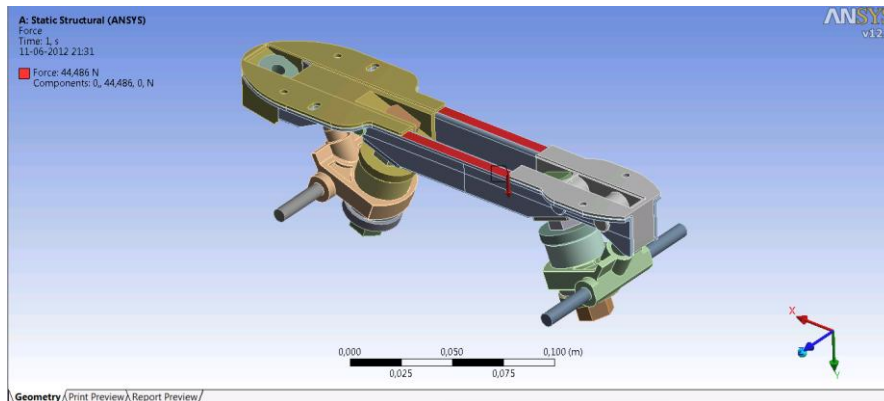


Figura 6.43 - Aplicação da carga no modelo do programa Ansys FY

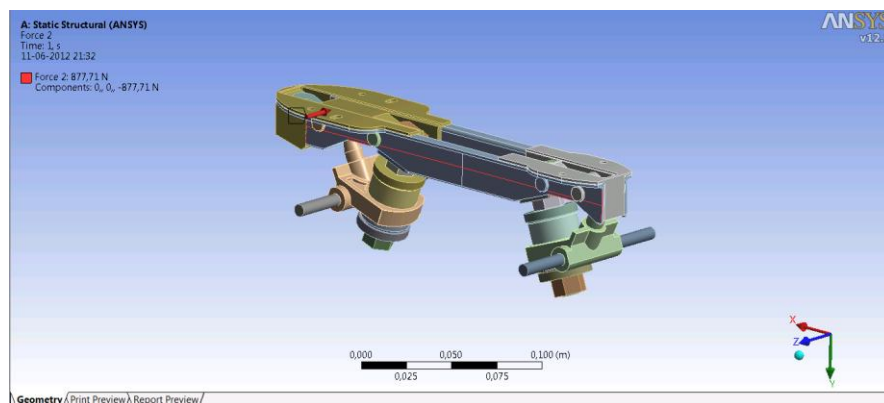
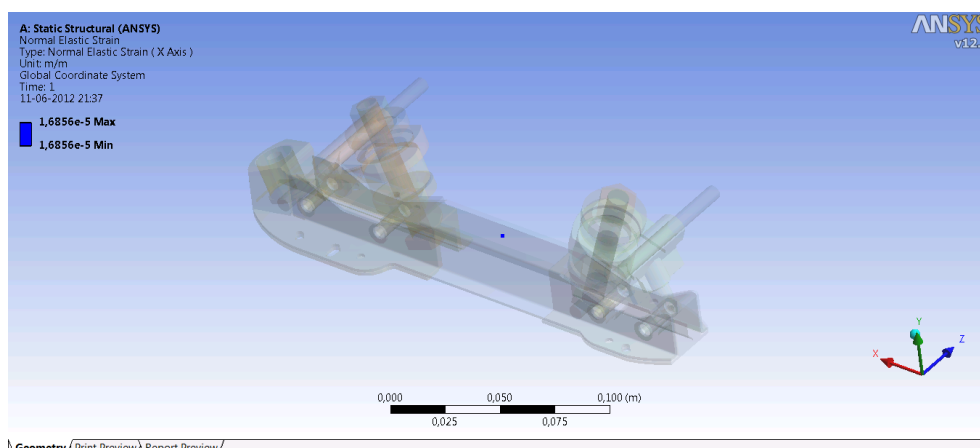


Figura 6.44 - Aplicação da carga no Ansys FZ

O resultado do uso do *software* Ansys<sup>®</sup> para as simulações numéricas, são as deformações sofridas pelo patim, assim como a distribuição das tensões.

A Figura 6.45 mostra a deformação de um dos pontos estudados, mais precisamente no extensómetro inferior.



**Figura 6.45 - Deformação no extensómetro inferior no Ansys**

Para a validação do modelo através da simulação numérica, ter-se-á de comparar com os valores reais obtidos. Esta validação é feita através do valor de erro, impondo assim um limite máximo de 10%, pois é um valor característico neste tipo de simulações.

Na Tabela 6.32, são mostradas as deformações reais, as deformações obtidas no Ansys<sup>®</sup> além do erro entre elas.

**Tabela 6.32 - Erro das deformações experimentais e as deformações no Ansys**

	Máximo Extensómetro Inferior		Máximo Extensómetro Lateral		
	Ext. Inferior	Ext. Lateral	Ext. Inferior	Ext. Lateral	
Telemetria	48,166	0,973	17,599	-42,794	x10 <sup>-6</sup>
Ansys	46,034	0,952	16,856	-43,345	
Erro [%]	4,427	2,089	4,223	1,288	[%]

Analisando a Tabela 6.32, podemos então afirmar que a taxa de erro é aceitável, verificando-se assim a boa aproximação obtida com os modelos.

É importante salientar que estes modelos serão aplicados caso se queiram estudar as variações das tensões no patim, para um possível dimensionamento do mesmo.

## 6.5. Análise das tensões nas bases dos patins

Quando se tem por objetivo o desenvolvimento de uma nova geometria, ou mesmo uma otimização de um modelo já existente, é importante fazer-se uma validação dos modelos, tal como foi feito anteriormente, mas para além de se estudarem as deformações, é importante analisar também a distribuição das tensões no corpo.

Para se obterem tensões num corpo é necessário que esse corpo seja solicitado com esforços correspondentes aos que resultam da sua utilização. Os esforços a utilizar são aqueles que conduzem às maiores tensões.

Neste tópico, far-se-á uma análise às bases dos patins estudados, e serão retiradas conclusões sobre o estudo realizado.

### 6.5.1. Análise das tensões no patim em corpo de alumínio

Os casos de estudos foram dois, tal como se pode verificar no ponto 6.4.1, havendo então assim a necessidade de estudar a distribuição das tensões para estes dois casos.

O primeiro caso a estudar é o caso da deformação máxima no extensómetro colado na parte inferior do patim. Para se determinar a distribuição das tensões, recorre-se ao Ansys<sup>®</sup>, pois são aplicadas as forças na geometria, e sabidas as tensões, ver Figura 6.46.

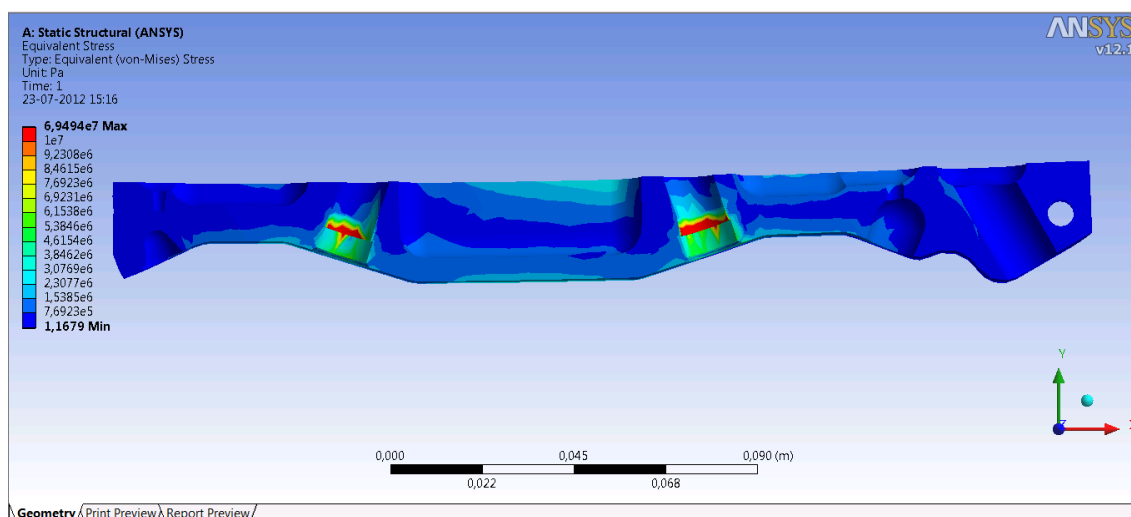
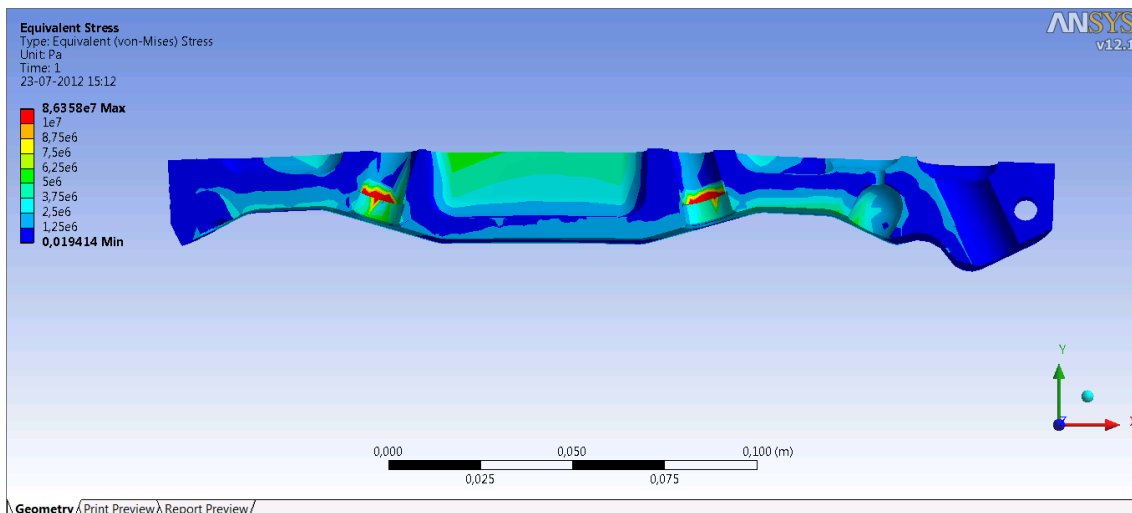


Figura 6.46 - Distribuição das tensões para a deformação máxima no extensómetro inferior

Analisando a imagem, repara-se que as tensões são máxima nos furos que fixam as cruzetas à base do patim. Esta distribuição faz sentido, uma vez que o fluxo da força se dirige das rodas até à base do patim, sendo parte dissipada nas borrachas que servem de amortecimento.

Nota-se ainda que no resto da geometria da base as tensões são bastante baixas, o que leva a concluir que existe um excesso de material. Este é um ponto a ter em consideração aquando do dimensionamento ou otimização de uma nova geometria.

Para além deste modelo foi estudado também o caso em que a deformação é máxima no extensómetro lateral. Na Figura 6.47, é possível observar então essa distribuição das tensões.



**Figura 6.47 - Distribuição das tensões para a deformação máxima no extensómetro lateral**

Analisando a imagem conclui-se o mesmo que no caso em que a deformação é máxima no extensómetro lateral, isto é, nos furos da base do parafuso as tensões são de facto mais elevadas, enquanto ao longo da base as tensões são novamente de valor bastante baixo.

Estas conclusões são um ponto de partida para a otimização desta base, pois o excesso de material é nítido. Poder-se-ia desenvolver uma nova base com a mesma geometria, menos material e uma consequente redução de peso, que proporcionaria ao atleta uma diminuição da fadiga e maior capacidade de sprint. Algum cuidado é também recomendado para o dimensionamento dos apoios da cruzeta.

### **6.5.2. Análise das tensões no patim em chapa quinada**

Feita a análise do patim com a base em alumínio maquinado será a vez de realizar a análise da distribuição de tensões no patim em alumínio mas em chapa quinada.

Mais uma vez são realizados dois ensaios, correspondendo aos máximos das deformações nos extensómetros medidos.

O primeiro caso diz respeito à máxima deformação no extensómetro inferior, podendo ver-se assim a distribuição das tensões na Figura 6.48.

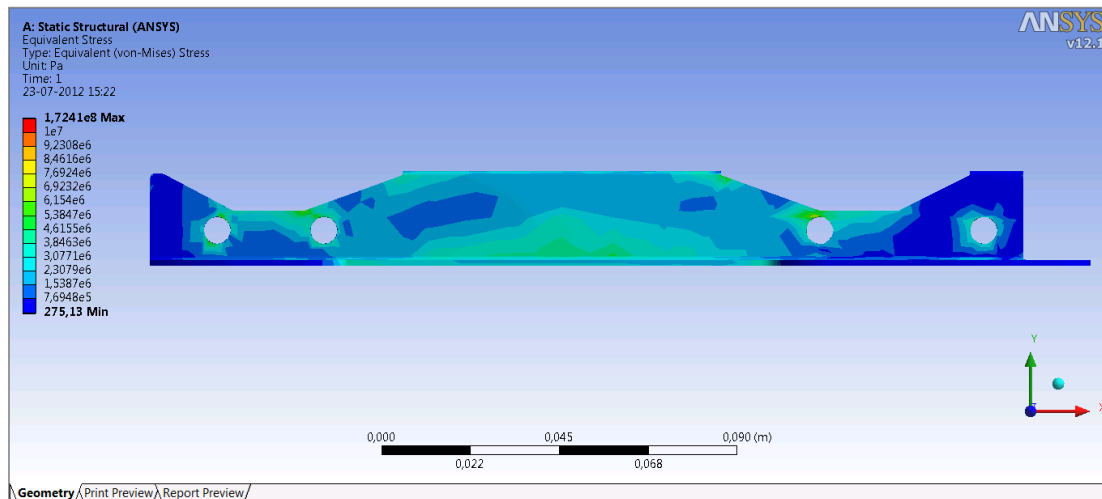


Figura 6.48- Distribuição das tensões para a deformação máxima no extensómetro inferior

Como é possível observar na Figura 6.48, a distribuição das tensões é muito baixa ao longo de toda a base. Ao contrário da base em alumínio maquinado esta base não tem nenhuma ligação direta às cruzetas, pois esta base está ligada às peças de plástico que por sua vez suportam as cruzetas. O fluxo da força dissipa-se nas borrachas que têm função de amortecimento, reduzindo a força na base seja menor e conseqüentemente baixando as tensões.

Sabendo que os casos em análise são dois, falta analisar a situação em que a deformação é máxima no extensómetro lateral.

Sabendo que a Figura 6.49 mostra a distribuição das tensões no corpo para o segundo caso.

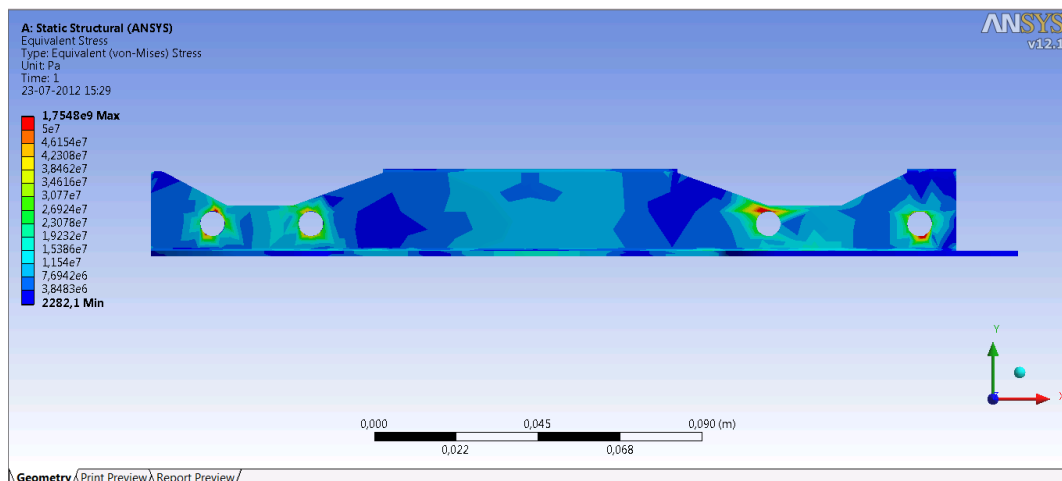


Figura 6.49 - Distribuição das tensões para a deformação máxima no extensómetro lateral

Mais uma vez -se consegue ver pela figura, que a distribuição das tensões voltam a ser baixas ao longo do patim, embora perto da zonas dos furos haja uma acréscimo das tensões, elas não são suficientes para a ocorrência de rotura, tendo como conclusão o

mesmo motivo anterior, isto é, dada a geometria do conjunto do patim, os esforços que chegam à base são menores, provocando uma consequente diminuição das tensões.

Embora as conclusões retiradas pelo Ansys<sup>®</sup> sejam as anteriores, na prática as coisas não se realizaram da mesma forma, pois após os ensaios dinâmicos, verificou-se que existiu uma quebra no patim, como se pode ver na Figura 6.50.



**Figura 6.50 - Rotura localizada no patim**

Analisando o gráfico das deformações, da Figura 6.40, não se consegue determinar qual foi o ponto de rotura da base pois para a análise das deformações, utiliza-se a maior e como as tensões são baixas, não é possível obter uma conclusão.

No entanto, como já foi referido, há um momento em que das deformações sobe devido a um problema nos fios de ligação do extensómetro, o que levanta a dúvida se a rotura não terá ocorrido nesse intervalo.

Mais uma conclusão que se poderá retirar em relação à rotura é a da Figura 6.24, pois no carregamento à frente há deformação máxima, coincidente com o local onde existiu rotura. Esta conclusão pode colocar em dúvida a validação do patim no Ansys<sup>®</sup>.

Outro fator que pode ter levado à rotura é a bota, pois após o ensaio, a fixação da bota é feita através dos parafusos, encontrava-se solta, sendo mais um fator a ter em conta.



## **7. Análise da patinagem baseada em telemetria**

Quando foram realizados os ensaios com o sistema de telemetria, foi necessário conhecer as manobras mais típicas e mais bruscas do hóquei, o que permite simular os esforços realizados nessas manobras.

Estes esforços são dependentes de fatores tais como, o peso do patinador, a maneira como este patina e o desempenho técnico.

Para que seja possível realizar-se este trabalho de análise, foi necessário filmar todo o percurso de patinagem e realizar uma sincronização entre o sistema de medição e o vídeo, sendo assim possível conhecer as deformações registadas em cada manobra.

### **7.1. Análise do patim em corpo alumínio maquinada**

Embora as manobras a que solicitamos os patins sejam as mesmas, como a geometria é diferente é importante estudar cada um dos casos, onde será visto mais detalhadamente as deformações em cada um dos casos.

#### **7.1.1. Travagem**

Numa primeira análise serão avaliadas as deformações correspondentes à travagem. Estas deformações são as maiores devido à posição com que o jogador coloca o patim, ao atrito que tem com o piso e devido ao piso onde foram realizados os ensaios, sendo este bastante irregular.

Todos estes fatores associados ainda à técnica do próprio patinador condicionam a manobra tendo como consequência uma subida ou descida das deformações.

Note-se ainda, que para a análise foi considerada a travagem associada às deformações máximas, pois foram realizadas várias durante os ensaios, ver Figura 7.1.

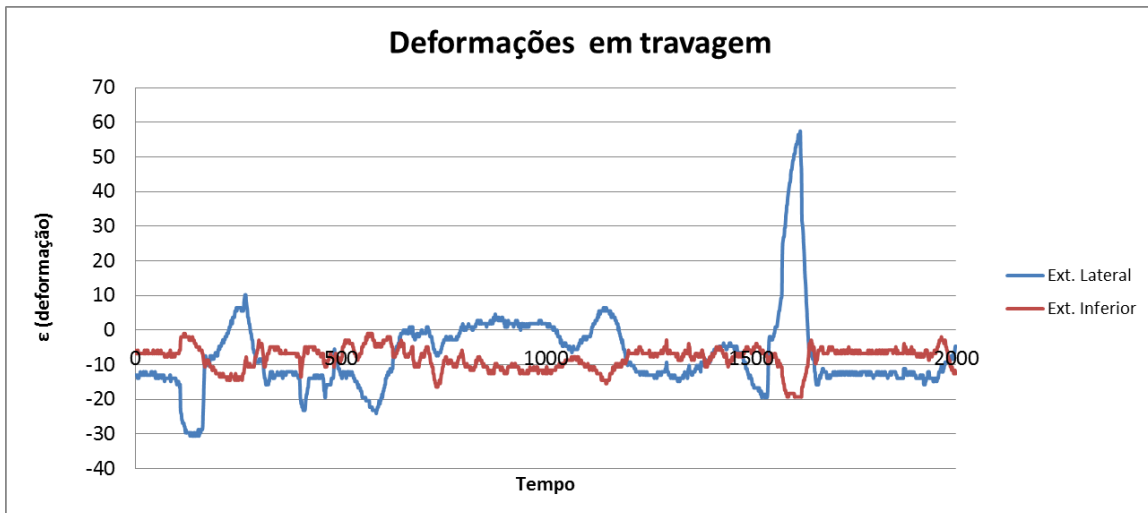


Figura 7.1 - Deformações do patim durante uma manobra de travagem

Analisando o gráfico anterior repara-se rapidamente que a deformação no extensómetro lateral é máxima. Esta deformação era esperada dada a posição como o patinador realiza a manobra, pois se, se aproximar a base do patim a uma viga, rapidamente se conclui que a flexão adquirida por esta é idêntica a uma viga.

No extensómetro inferior a deformação é negativa, o que significa que no local onde o extensómetro está colado existe compressão.

Realizando-se mais uma vez a aproximação a uma viga consegue compreender-se que se está perante um caso de flexão desviada onde é realizada uma aproximação que se mostra na Figura 7.2 indicando a zona onde se preveem as maiores tensões.

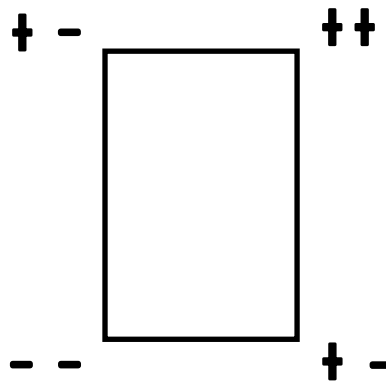
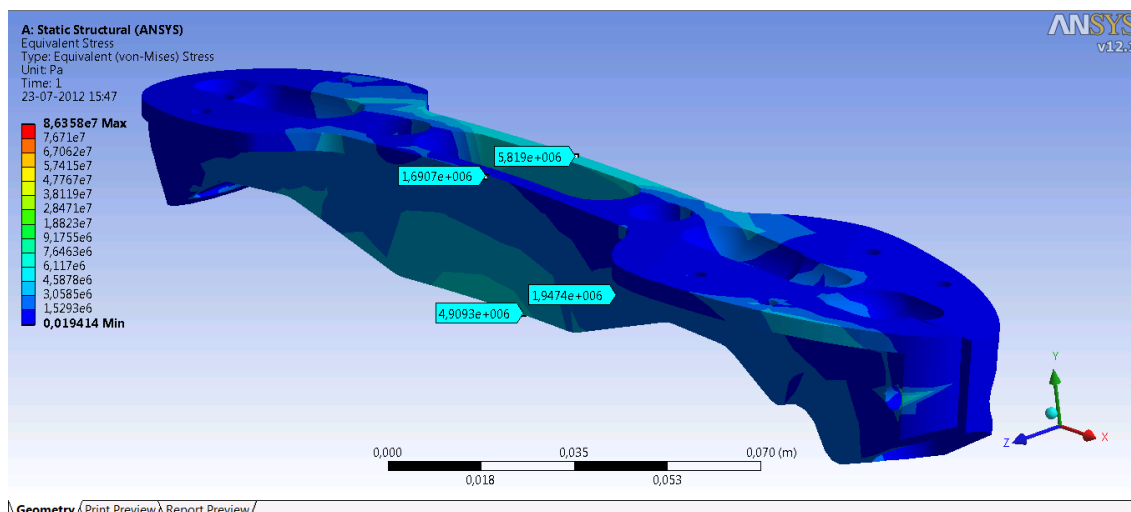


Figura 7.2 - Diagrama da flexão desviada

Para o corpo do patim consegue-se então concluir pela análise da figura que as tensões serão máximas nas regiões onde os esforços são somados com o mesmo sinal.

Veja-se na Figura 7.3 se tal se confirma, pela análise das tensões realizada no Ansys®.



**Figura 7.3 - Análise das tensões no patim**

Analisando a imagem dos valores obtidos pelo Ansys®, consegue-se afirmar que o comportamento do patim é de facto aproximado a uma viga.

### 7.1.2. Arranque

Na análise anterior fez-se referência às deformações do patim durante a travagem, neste item, será estuda a situação de arranque.

Um atleta no hóquei patins, para se impulsionar, utiliza um arranque de calços, ver Figura 7.4, consistindo em colocar o calço do patim no chão permitindo impulsionar-se para a frente e iniciar a patinagem.



**Figura 7.4 - Arranque de calços**

Tal como é possível observar-se na figura, a posição do pé do atleta provoca uma flexão da base do patim, traduzindo-se nas deformações representadas no gráfico da Figura 7.5.

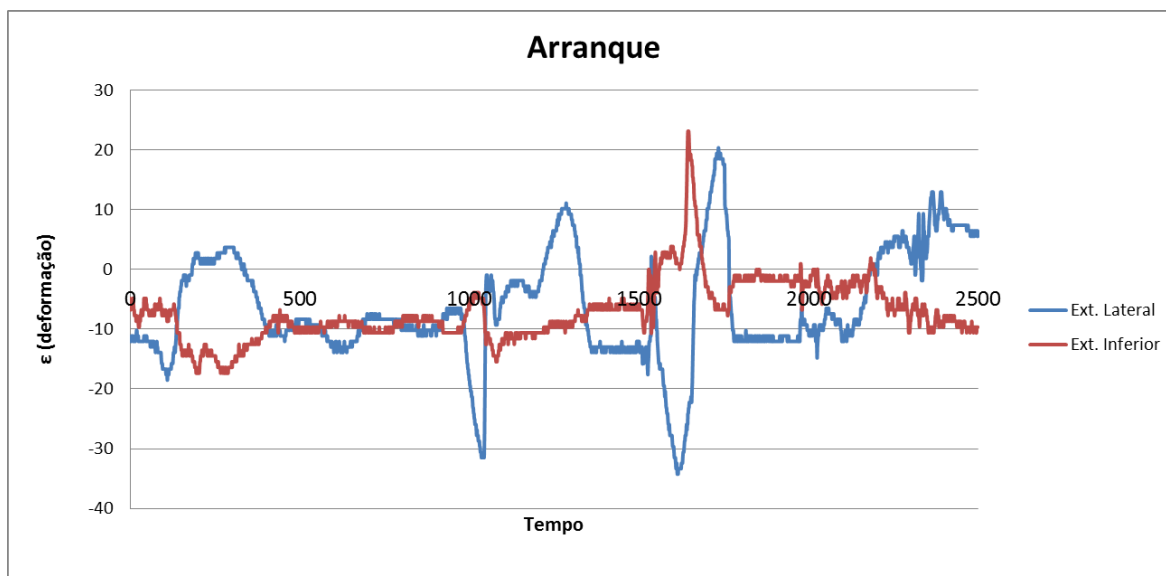


Figura 7.5 - Deformações do patim durante uma manobra de arranque de calços

Tal como seria de esperar pela Figura 7.4, a deformação máxima é registada pelo extensómetro inferior, isto deve-se à flexão que o atleta provoca no patim.

Olhando para o gráfico da Figura 7.5, conclui-se que as manobras de travagem e arranque são as que provocam maiores deformações no patim.

Embora manobras como saltos e travagens em vários sentidos, as deformações registadas nos dois itens anteriores são as mais elevadas.

## 7.2. Análise do patim em chapa quinada

Anteriormente estudou-se o patim com a base em alumínio maquinado, mas como o estudo foi realizado sempre nos dois patins vão também ser estudadas as manobras de travagem e arranque no patim com a base em chapa quinada.

### 7.2.1. Travagem

A travagem é uma manobra muito vulgar em patinagem que como já foi visto anteriormente, transmite ao patim esforços elevados.

Durante os ensaios com o sistema de telemetria o patim em chapa quinada foi utilizado no pé esquerdo do patinador e, sendo este destro, as travagens com o patim direito desenvolviam as maiores deformações no patim de chapa quinada, no extensómetro lateral.

Este facto deve-se à técnica do patinador, pois como foi visto no patim em alumínio maquinado, calçado no pé direito, as maiores deformações eram desenvolvidas durante a travagem.

Esta condicionante da travagem sobre a direita provoca no patim de chapa quinada, deformações negativa, o que significa que o patim se encontra a trabalhar à compressão.

A tradução disso é mostrada no gráfico da Figura 7.6, que retrata as deformações do patim durante uma travagem.

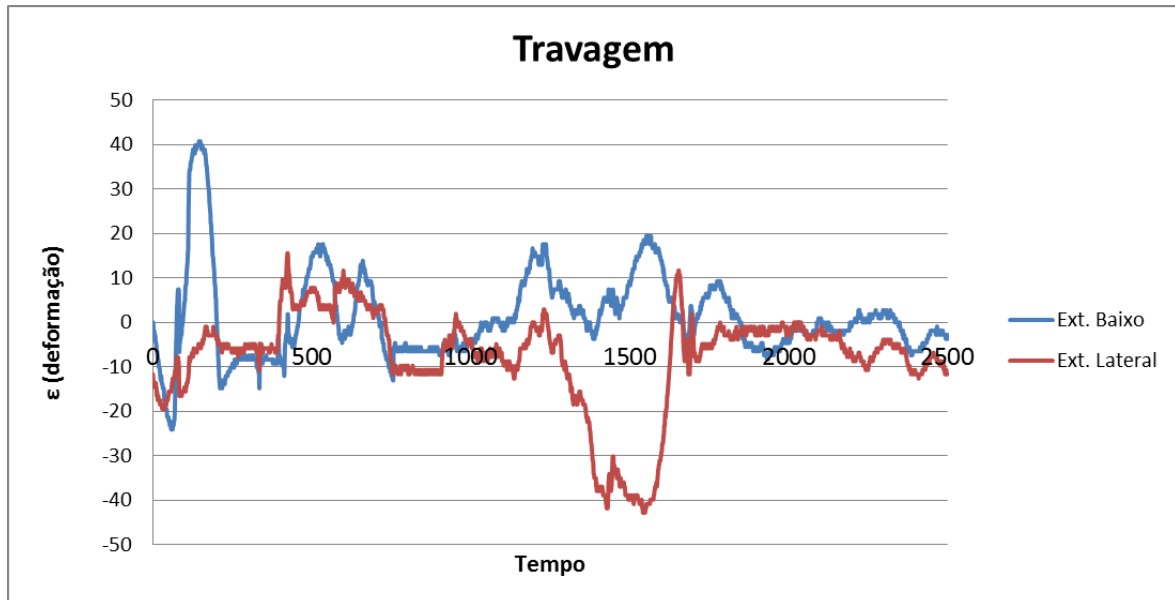


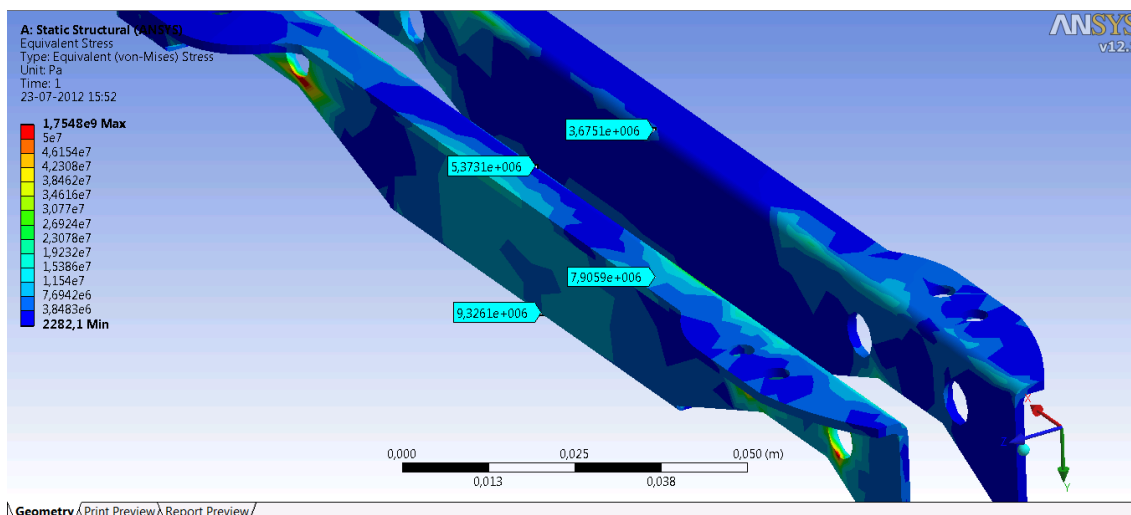
Figura 7.6- Deformações do patim durante uma manobra de travagem

Apesar de as deformações serem mínimas no extensómetro lateral, no extensómetro inferior, são bastante baixas, estando muito próximas de zero, o que se traduz em termos de esforços, com um valor bastante reduzido.

Embora sejam baixas, com a compressão no extensómetro lateral, mais uma vez é evidente a situação de flexão desviada, onde se pode prever mais uma vez a região onde as tensões irão ser superiores.

Sabe-se então da teoria da Mecânica das Estruturas, que as tensões podem ser adicionadas ou subtraídas dependente dos esforços.

Na Figura 7.7, consegue-se constatar o descrito anteriormente, através da análise dos quatro pontos.



**Figura 7.7 - Análise das tensões no patim**

Tal como se pode observar pela imagem, as tensões são mais elevadas no canto superior esquerdo. Este acontecimento deve-se ao facto de se somarem as tensões nesse ponto, pois têm sinal idêntico, ou seja, compressão.

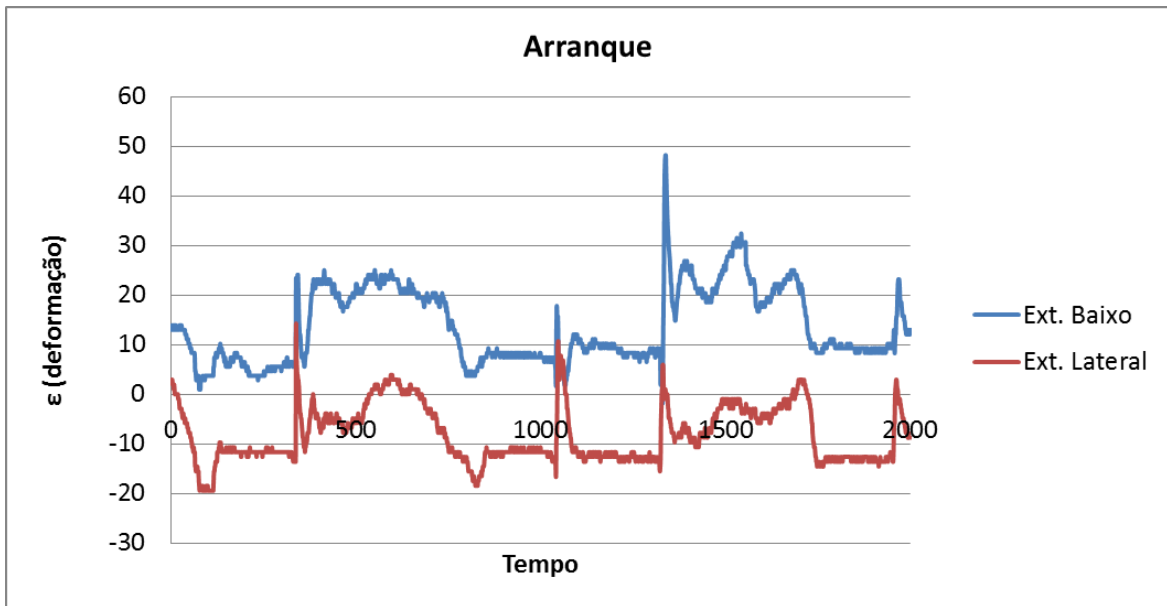
Assim mais uma vez, pode considerar-se que a base tem um comportamento aproximado a uma viga.

Pode então comparar-se as deformações entre os dois patins, onde se conclui que no patim em alumínio maquinado as deformações são superiores e positivas, mas não esquecendo que o patinador é destro, o que origina que as travagens à direita sejam mais intensas, tendo como consequência um acréscimo da deformação.

### **7.2.2. Arranque**

Falta apenas estudar o arranque em calços. Esta manobra depende bastante do patinador e da impulsão que este queira dar ao patim, pois foram realizados vários arranques com este patim, e detetaram-se intensidades de força diferentes.

O gráfico da Figura 7.8, mostra o arranque que criou maior deformação no patim.



**Figura 7.8 - Deformações do patim durante uma manobra de travagem**

Como é sabido o arranque sobre calços origina flexão, sendo a deformação no extensómetro inferior positiva.

Comparativamente aos valores obtidos na base em alumínio maquinado pode-se afirmar que na base em chapa as deformações são cerca do dobro.

Associadas a estas medições podem estar erros, como o soltar da bota à base do patim, provocando diminuição ou adição de esforços extra à base do patim.



## 8. Conclusão

O trabalho sugerido tinha como objetivo principal o estudo estrutural do patim, recorrendo à Mecânica Experimental, mais concretamente à extensometria, com a realização de ensaios estáticos e dinâmicos.

Posto isto, houve a necessidade da calibração dos modelos na análise estática e desenvolvimento de modelos para os ensaios dinâmicos. Note-se que os modelos desenvolvidos dizem respeito às geometrias estudadas com as propriedades dos materiais recomendados.

Os resultados experimentais deveriam ser utilizados para ajustar modelos.

Assim pode-se concluir uma realização com êxito, pois foram conseguidas as curvas experimentais para os diferentes carregamentos com a respetiva validação dos modelos no *software* Ansys®. Os erros obtidos são considerados aceitáveis, pois estiveram sempre abaixo do limite proposto, 10% como é normal em qualquer medição, concluindo-se assim a validade dos modelos.

Foi concluído também que existiu uma fratura do patim em chapa quinada durante os ensaios dinâmicos, numa zona onde as tensões eram muito baixas, realizada nos modelos dos ensaios dinâmicos. Embora nas tensões neste ponto as tensões fossem muito baixas, na análise das deformações do patim, no carregamento frontal, verifica-se a existência das deformações máximas referentes a esse ponto de rotura. Este erro coloca em causa a validação do protótipo em análise pelo que existe um trabalho a desenvolver futuramente.

Embora o desenvolvimento do patim em chapa quinada não fosse concluído, antes do estudo estrutural deste, foi feito um estudo de mercado sobre o seu impacto, concluindo-se que poderá ser uma inovação no mundo dos patins, dado o seu baixo custo de produção.

Foram ainda estudadas várias manobras típicas de patinagem, como a travagem e o arranque de calços, onde se concluiu que a travagem provoca maiores deformações no patim e que estas deformações são condicionadas pela técnica do atleta, isto é, se ele realiza melhor a manobra de travagem com o pé esquerdo ou direito.



## 9. Trabalhos futuros

Todo o trabalho realizado nos patins passou fundamentalmente pelo estudo dos modelos em Ansys® recorrendo a uma análise experimental para validação de cada modelo numérico, o estudo de algumas manobras mais características dos hóquei em patins, onde foi possível determinar as forças existentes nas mesmas.

Como é sabido ao longo do trabalho, o patim em chapa quinada oferece um enorme potencial no mercado dos patins, dada a sua facilidade de fabrico e baixo custo.

Num futuro trabalho, poderá investir-se mais no detalhe do estudo do patim, na otimização da geometria em termos de materiais e peso do mesmo.

Outro ponto a estudar neste patim foi a fratura existente durante os ensaios, pois no estudo das tensões o ponto de fratura não foi identificado, o que leva a concluir que é um problema ainda a resolver. Este facto leva ao estudo de novas soluções em termos de materiais ou mesmo o desenvolvimento de uma nova geometria.

Em relação à aplicação da telemetria, poder-se-á estudar mais detalhadamente outras manobras utilizadas no hóquei e a utilização de um jogador com peso diferente, onde se poderão estudar as deformações do patim.

Um outro estudo com elevado interesse seria realizar um conjunto de medições semelhantes sobre patins de patinagem artística onde ocorrem impactos com o solo mais frequentemente.



## 10. Lista de referências e Bibliografia

1. Sousa, E., Dias G., Ascensão, M., Paiva P., *Estudo de um patim de hóquei em patins*, 2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
2. *Patins em linha*. 2012 16 Abril]; Available from: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Patins\\_em\\_linha](http://pt.wikipedia.org/wiki/Patins_em_linha).
3. Ferreira, J., *Idêntificação das Propriedades Mecânicas de um stick com influência no seu desempenho Dinâmico e a sua Adaptação às Características do Movimento de Remate*, 2011, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
4. *Evolução do Hóquei em Patins em Portugal*. 2012 16 Abril]; Available from: [http://pt.wikipedia.org/wiki/H%C3%B3quei\\_em\\_patins](http://pt.wikipedia.org/wiki/H%C3%B3quei_em_patins).
5. *Hóquei em Patins*. 2011 16 Abril]; Available from: [www.fpp.pt](http://www.fpp.pt).
6. *Tipos de Patins*. 2012 15 Abril]; Available from: <http://paraibainline.wordpress.com/o-esporte/tipos-de-patins/>.
7. *The Physics of Ice Skating*. Maio 2012 27 Abril]; Available from: <http://www.real-world-physics-problems.com/physics-of-ice-skating.html>.
8. R. W. de Boer, E.V., W. Hutter, G. de Groot, and G. J. van Ingen Scheau, *Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice*. European Journal of Physiology, 1987.
9. Petrone, N., *Acquisition and analysis of ground reaction forces and foot orientation on in-line skates during track speed skating*. Julho 2007.
10. *Catálogo Hóquei Patins*. 2012 29 Março]; Available from: <http://www.tvd.pt/hoquei/categoria/patins-e-acessorios>.
11. Gomes, J.S., Vaz, M., *Análise Experimental de Tensões* 2003.
12. *Zytel*. 2012; Available from: <http://www2.dupont.com>.



# ANEXO A: Propriedades dos materiais de construção dos patins

Tabela 0.1 - Propriedades do Nylon utilizado na construção do patim em chapa quinada

PRODUCT INFORMATION				
<b>Zytel® 103FHS NC010</b>				
<b>NYLON RESIN</b>				
<b>Product Description</b>				
Zytel® 103FHS NC010 is a heat stabilized, internally lubricated polyamide 66 resin for injection molding. It was developed for fast cycles and high productivity.				
<b>General</b>				
Material Status	• Commercial: Active			
Availability	• Asia Pacific	• Europe	• North America	
Additive	• Heat Stabilizer	• Lubricant	• Mold Release	
Features	• Fast Molding Cycle • Fatigue Resistant • Fuel Resistant • Good Chemical Resistance • Good Electrical Properties • Good Heat Aging Resistance	• Good Mold Release • Good Moldability • Good Processability • Good Wear Resistance • Grease Resistant • Heat Stabilized	• High Flow • Lubricated • Oil Resistant • Ultrasonic Weldable	
Uses	• Automotive Applications • Connectors	• Electrical/Electronic Applications • Fasteners		
RoHS Compliance	• Contact Manufacturer			
Appearance	• Natural Color			
Processing Method	• Injection Molding			
Multi-Point Data	• Isothermal Stress vs. Strain (ISO 11403-1)			
Part Marking Code (ISO 11469)	• >PA66<			
Resin ID (ISO 1043)	• PA66			
Product Category	• Unreinforced Resins			
<b>Physical</b>	<b>Dry</b>	<b>Conditioned</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Method</b>
Density	1.14	--	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Molding Shrinkage				
Flow: 1.60 mm	1.4	--	%	Internal Method
Flow: 3.20 mm	1.8	--	%	Internal Method
Across Flow: 2.00 mm	1.3	--	%	ISO 294-4
Flow: 2.00 mm	1.4	--	%	ISO 294-4
Water Absorption				
23°C, 24 hr	1.2	--	%	ASTM D570
Saturation, 23°C	8.6	--	%	ASTM D570
Saturation, 23°C	8.5	--	%	ISO 62
Equilibrium, 23°C, 50% RH	2.6	--	%	ISO 62
<b>Mechanical</b>	<b>Dry</b>	<b>Conditioned</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Method</b>
Tensile Modulus (23°C)	3100	1400	MPa	ISO 527-2
Tensile Stress				
Yield, 23°C	85.0	55.0	MPa	ISO 527-2
23°C	83.0	59.0	MPa	ASTM D638
77°C	55.0	--	MPa	ASTM D638
121°C	41.0	--	MPa	ASTM D638

Tabela 0.2 - Propriedades do Nylon utilizado na construção do patim Zytel®

PRODUCT INFORMATION				
<b>Zytel® ST801AW BK195</b>				
<b>NYLON RESIN</b>				
<b>Product Description</b>				
Zytel® ST801AW BK195 is a Super Tough, weatherable, easy flow and processing friendly, black polyamide 66 resin for injection molding. It offers the best resistance to outdoor exposure.				
<b>General</b>				
Material Status	• Commercial: Active			
Availability	• Asia Pacific	• Europe	• North America	
Additive	• Impact Modifier		• UV Stabilizer	
Features	• Fuel Resistant	• Good Chemical Resistance	• Good UV Resistance	• Grease Resistant
	• High Impact Resistance	• Impact Modified	• Low Temperature Toughness	• Oil Resistant
	• Ultra High Toughness	• Ultrasonic Weldable		
Uses	• Appliance Components	• Automotive Applications	• Electrical/Electronic Applications	• Industrial Applications
				• Sporting Goods
RoHS Compliance	• Contact Manufacturer			
Appearance	• Black			
Processing Method	• Injection Molding			
Multi-Point Data	• Isothermal Stress vs. Strain (ISO 11403-1)			
Part Marking Code (ISO 11469)	• >PA66-HI<			
Resin ID (ISO 1043)	• PA66-HI			
Product Category	• Toughened Resins	• Unreinforced Resins	• UV Resistant/Weatherable Resins	
<b>Physical</b>	<b>Dry</b>	<b>Conditioned</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Method</b>
Density	1.09	--	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Molding Shrinkage				ISO 294-4
Across Flow: 2.00 mm	2.0	--	%	
Flow: 2.00 mm	2.2	--	%	
Water Absorption (23°C, 24 hr)	1.1	--	%	ISO 62
<b>Mechanical</b>	<b>Dry</b>	<b>Conditioned</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Method</b>
Tensile Modulus (23°C)	1900	1240	MPa	ISO 527-2
Tensile Stress				
Yield, 23°C	47.0	--	MPa	ISO 527-2
Break, 23°C	45.0	--	MPa	ISO 527-2/50
50% Strain, 23°C	50.0	41.0	MPa	ISO 527-2
Tensile Strain				
Yield, 23°C	30	--	%	ISO 527-2
Break, 23°C	75	--	%	ISO 527-2/50
Nominal Tensile Strain at Break (23°C)	48	> 50	%	ISO 527-2
Flexural Modulus (23°C)	1800	--	MPa	ISO 178

## ANEXO B: Propriedades dos sistemas de aquisição de dados

Tabela 0.1 - Propriedades do sistema de aquisição de dados SCXI - 1001

Specifications Summary	
<b>General</b>	
Product Name	SCXI-1001
Form Factor	SCXI
Product Type	Chassis
Part Number	776571-05 , 776571-01 , 776571-02
Operating System/Target	Real-Time , Linux , Mac OS , Windows
LabVIEW RT Support	Yes
Operating Relative Humidity	10 percent , 90 percent
<b>Chassis</b>	
Power Supply	AC
Number of Slots	12
Optional Front or Rear Rack Mountable	Yes
Total Available Power	84 W
Input Frequency Range	47 Hz , 73 Hz
V+ Supplies	0.0
Max AC Current for 100 VAC	1.7 A
Max AC Current for 120 VAC	1.5 A
Max AC Current for 220 VAC	0.8 A
Max AC Current for 240 VAC	0.8 A
<b>Physical Specifications</b>	
Length	43.82 cm
Width	21.69 cm
Height	17.96 cm
Weight	6.8 kilogram
Minimum Operating Temperature	0 °C
Maximum Operating Temperature	50 °C
Maximum Altitude	2000 m

Tabela 0.2 - Propriedade do sistema de telemetria

Input channels	1 full differential input channel, 350 Ω resistance or higher (with optional bridge completion), 1 single ended input (0 - 3 volts maximum), and internal temperature sensor
Temperature sensor	-40 °C to 70 °C range, typical accuracy ±2 °C (at 25 °C)
Anti-aliasing filter bandwidth:	-3 dB cutoff at 500 Hz (factory adjustable)
Measurement Accuracy	± 0.1% full scale typical
Resolution	1 bit: 0.024% 1 microstrain typical for 3 wire full bridge strain gauge (when used in accordance with MicroStrain® recommendations)
DC bridge excitation	+3 volts DC, at 50 mA maximum (pulsed to sensors for sample rates of 100 Hz and below to conserve power)
Programmable gain	software programmable: 104 to 1800
Programmable offset	software programmable
Analog to digital (A/D) converter	successive approximation type, 12 bit resolution
Data storage capacity	2 megabytes (approximately 1,000,000 data points)
Data logging mode	log up to 1,000,000 data points (from 100 to 65,500 samples or continuous) at 32 Hz to 2048 Hz
Sensor event driven trigger	commence datalogging when threshold exceeded
Sample Rates	1/hr - 4 kHz; synchronous mode 1 Hz - 512 Hz
Synchronous Sampling Mode Network Capacity	transmit real time data from node to PC - rate depends on number of active channels and transmitting nodes. e.g.: 3 nodes, 1 channel, 512 Hz 15 nodes, 1 channel, 256 Hz 31 nodes, 1 channel, 128 Hz 63 nodes, 1 channel, 64 Hz 127 nodes, 1 channel, 32 Hz  sample rates and # of channels are easily configured within Node Commander Network Configuration Wizard
Synchronization between nodes	+/- 32 µsec in synchronous sampling mode with 10 second beacon interval
Synchronous sample rate stability	+/- 3 ppm
Wireless shunt calibration	channel 1, internal shunt calibration resistor 499 KΩ
Radio frequency (RF) transceiver carrier	2.4 GHz direct sequence spread spectrum, license free worldwide (2.405 to 2.480 GHz) - up to 16 channels, radiated power programmable from 0 dBm (1 mW) to 20 dBm (100 mW)
RF data packet standard	IEEE 802.15.4, open communication architecture
RF data downloading	8 minutes to download full memory
Range for bi-directional RF link	programmable communication range from 70m to 2,000m
Internal Li-Ion battery	3.7 volt 250 mAh lithium ion rechargeable battery or external power 3.2 to 9 volts
Power consumption	SG-Link® node only: real-time streaming - 2.4 mA, datalogging - 25 mA, sleeping - 0.1 mA with 1000 ohm strain gauge
Operating temperature	-20 °C to +60 °C with standard internal battery and enclosure, extended temperature range optional with custom battery and enclosure, -40 °C to +85 °C for electronics only
Maximum acceleration Limit	500 g standard (high g option available)
Dimensions	58 mm x 50 mm x 26 mm (enclosure without antenna) 46 mm x 36 mm x 16 mm (circuit board assembly only) for dimensional print go to <a href="http://www.microstrain.com">www.microstrain.com</a>
Weight	50 g (with enclosure); 17 g (circuit board assembly only)

