



**Rodolfo Sampaio  
Silva Carvalho**

**Construção de um piso de ginástica artística com  
materiais recicláveis**





**Rodolfo Sampaio  
Silva Carvalho**

**Construção de um piso de ginástica artística com  
materiais recicláveis**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica do Doutor António Manuel de Bastos Pereira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e do Doutor Ricardo José Alves de Sousa, Professor Auxiliar com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



**O júri / The jury**

Presidente / President

**Doutor Alfredo Manuel Balacó de Morais**

Professor Associado da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Doutor Francisco José Gomes da Silva**

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

**Doutor António Manuel de Bastos Pereira**

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)



**Agradecimentos /  
Acknowledgements**

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel de Bastos Pereira, e ao meu coorientador, Professor Doutor Ricardo José Alves de Sousa, por toda a ajuda e disponibilidade demonstrada durante a realização desta dissertação e durante todo o curso.

Agradeço à minha família pelo apoio durante todo o curso e por me proporcionarem esta oportunidade de aprendizagem.



## Palavras-chave

Praticáveis de ginástica artística; FIG: IV- MAG1-01.01.2016; Ensaios de impacto por queda livre; Força de impacto; Cortiça

## Resumo

O principal objetivo desta dissertação foi a alteração de um praticável de ginástica artística de forma a que fosse possível a utilização de materiais recicláveis na construção do mesmo. O material escolhido foi a cortiça devido às suas propriedades mecânicas, às vantagens comerciais deste produto e à sua grande importância na economia nacional.

De forma a verificar a viabilidade das soluções idealizadas foram realizados ensaios de impacto por queda livre para que fosse possível determinar valores de deflexão, ressalto e força máxima de impacto. Estes ensaios seguiram as diretrizes da Federação Internacional de Ginástica para avaliar se no futuro será possível obter a homologação do praticável por parte desta entidade.

Foi testada uma amostra de um praticável que foi sofrendo várias alterações desde a substituição do colchão de espuma polimérica por diferentes tipos de cortiça, a exclusão de um dos estrados e a exclusão de uma das molas helicoidais.

Realizados os ensaios com todas as amostras, verificou-se que a utilização de cortiça, em substituição da espuma polimérica, é uma solução promissora.



**Keywords**

Floors for artistic gymnastics; FIG: IV- MAG1-01.01.2016; Free fall impact testing; Impact force; Cork

**Abstract**

The main objective of this dissertation was the alteration of a standard floor of artistic gymnastics with the use of a recyclable materials. The material of choice was cork due to its mechanical properties, the commercial advantages and its great importance in the Portuguese national economy.

To verify if the solutions idealised were viable, they went through free fall impact testing in order to determine the values of deflection, rebound and impact force for each one. The tests followed the guidelines of the Gymnastics International Federation for the testing of this kind of apparatus, to evaluate if the gymnastics floor could get an homologation from this entity in the future.

A sample of the gymnastics floor was used and went through several stages including the replacement of the polymeric foam with different types of cork, the removal of one of the wood panels and the removal of one of the coil springs.

With the testing done with all the samples, the substitution of the polymeric foam with cork proved to be a promising solution.



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Metodologia Experimental</b>	<b>5</b>
2.1	Equipamento Utilizado . . . . .	5
2.1.1	Aparelhos de Recolha de Dados . . . . .	5
2.1.2	Software de Recolha de Dados . . . . .	8
2.1.3	Calibração dos Sensores . . . . .	9
2.2	Metodologia de Testes . . . . .	11
2.2.1	Definição da Amostra de Controlo . . . . .	11
2.2.2	Escolha de Materias a Utilizar . . . . .	14
2.2.3	Determinação da Metodologia de Testes . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Procedimento Experimental</b>	<b>21</b>
3.1	Amostras Utilizadas . . . . .	21
3.2	Realização de Testes de Impacto . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Análise de Dados</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Anexo - Resultados dos Ensaios</b>	<b>37</b>



# Lista de Tabelas

1.1	Requisitos estabelecidos pela norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 . . .	2
1.2	Resultados obtidos no praticável de ginástica original . . . . .	3
3.1	Características das amostras de cortiça utilizadas . . . . .	22
3.2	Características das amostras testadas . . . . .	22
4.1	Comparação dos resultados da amostra de controlo com as referências do praticável original . . . . .	26
4.2	Resultados da amostra 1 ao longo de 10 ensaios . . . . .	26
4.3	Comparação dos resultados da amostra 1 e amostra 2 . . . . .	27
4.4	Comparação dos resultados da amostra 2 e amostra 3 . . . . .	27
4.5	Comparação dos resultados da amostra 2 e amostra 4 . . . . .	28
4.6	Comparação dos resultados da amostra 2 e amostra 5 . . . . .	29
4.7	Comparação dos resultados da amostra 5 e amostra 6 . . . . .	29
4.8	Comparação dos resultados da amostra 7 e amostra 8 . . . . .	30
4.9	Comparação dos resultados da amostra 8 e amostra 9 . . . . .	30
5.1	Comparação dos resultados de todas as amostras testadas . . . . .	31
5.2	Comparação dos resultados da amostra 5 com os resultados de referência . . . . .	32
5.3	Comparação direta dos vários tipos de cortiça . . . . .	32
6.1	Resultados obtidos utilizando a amostra de controlo . . . . .	38
6.2	Resultados obtidos utilizando a amostra 1 . . . . .	40
6.3	Resultados obtidos utilizando a amostra 2 . . . . .	42
6.4	Resultados obtidos utilizando a amostra 3 . . . . .	43
6.5	Resultados obtidos utilizando a amostra 4 . . . . .	45
6.6	Resultados obtidos utilizando a amostra 5 . . . . .	47
6.7	Resultados obtidos utilizando a amostra 6 . . . . .	48
6.8	Resultados obtidos utilizando a amostra 7 . . . . .	50
6.9	Resultados obtidos utilizando a amostra 8 . . . . .	52
6.10	Resultados obtidos utilizando a amostra 9 . . . . .	53



# Lista de Figuras

1.1	Pontos de impacto segundo a norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 . . .	2
2.1	Máquina de ensaios de impacto utilizada . . . . .	6
2.2	Célula de carga de 5 kN (à esquerda) e de 20 kN (à direita) com as respetivas peças de encaixe . . . . .	7
2.3	<i>Encoder</i> de fio . . . . .	7
2.4	Exemplo dos gráficos obtidos no <i>software</i> após cada teste . . . . .	8
2.5	Valores de calibração do <i>encoder</i> . . . . .	9
2.6	Reta de calibração da célula de carga . . . . .	10
2.7	Montagem dos estrados inferiores . . . . .	11
2.8	Montagem das placas superiores . . . . .	12
2.9	Montagem dos colchões de espuma polimérica . . . . .	13
2.10	Ponto de impacto utilizado durante os ensaios realizados . . . . .	13
2.11	Constituição da amostra de controlo . . . . .	14
2.12	Curva tensão-deformação típica de um material viscoelástico à com- pressão . . . . .	15
2.13	Influência da densidade do aglomerado no comportamento do aglo- merado de cortiça à compressão . . . . .	16
2.14	Influência do tamanho do grão no comportamento do aglomerado de cortiça à compressão . . . . .	17
2.15	Influência do tipo de agente aglomerante no comportamento do aglo- merado de cortiça à compressão . . . . .	17
2.16	Influência da percentagem de aglomerante no comportamento do aglomerado de cortiça à compressão . . . . .	18
3.1	Gráficos mostrados pelo <i>software</i> de recolha de dados . . . . .	24
4.1	Estrado inferior sem a mola central . . . . .	28
6.1	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra de controlo . . . . .	37
6.2	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra de controlo . . . . .	37
6.3	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra de controlo . . . . .	38

6.4	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra de controlo . . . . .	38
6.5	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 1 . .	39
6.6	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 1	39
6.7	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 1 .	39
6.8	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 1	40
6.9	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 2 . .	40
6.10	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 2	41
6.11	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 2 .	41
6.12	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 2	41
6.13	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 3 . .	42
6.14	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 3	42
6.15	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 3 .	43
6.16	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 3	43
6.17	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 4 . .	44
6.18	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 4	44
6.19	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 4 .	44
6.20	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 4	45
6.21	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 5 . .	45
6.22	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 5	46
6.23	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 5 .	46
6.24	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 5	46
6.25	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 6 . .	47
6.26	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 6	47
6.27	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 6 .	48
6.28	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 6	48
6.29	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 7 . .	49
6.30	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 7	49
6.31	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 7 .	49
6.32	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 7	50
6.33	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 8 . .	50
6.34	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 8	51
6.35	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 8 .	51
6.36	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 8	51
6.37	Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 9 . .	52
6.38	Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 9	52
6.39	Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 9 .	53
6.40	Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 9	53

# Capítulo 1

## Introdução

O Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Universidade de Aveiro (UA) tem mantido uma parceria com a empresa Conbego Unipessoal, Lda. com o objetivo de testar praticáveis de ginástica construídos pela referida empresa. Inicialmente o objetivo foi testar o dito praticável de modo a avaliar a sua compatibilidade com as normas da Federação Internacional de Ginástica (FIG), de forma a obter o certificado de homologação da FIG. Após a introdução de uma nova norma em 2016, a norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 [1], foram efetuados ensaios que provaram a impossibilidade de homologação dos referidos praticáveis [2]. Deste modo foi iniciado este projeto de forma a testar novas soluções construtivas que possam tornar viável a homologação do praticável.

### 1.1 Enquadramento

A norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 determina que deve ser largado, em queda livre, um impactor com uma massa de 20 kg de uma altura de 800mm. Este processo é repetido dez vezes em cada um dos catorze pontos ilustrados na Figura 1.1. Nestes ensaios são retirados os valores de força de impacto, deflexão máxima e ressalto máximo. Dos dez valores obtidos em cada ponto de impacto, são descartados os primeiros dois e é calculada a média dos oito últimos valores obtidos para cada ponto. Por fim é calculado o valor médio de força de impacto, deflexão máxima e ressalto máximo nos catorze pontos de impacto, arredondados às unidades, os quais têm de se encontrar dentro dos valores estabelecidos pela norma, mostrados na Tabela 1.1, para que seja possível a homologação do praticável pela FIG [1].

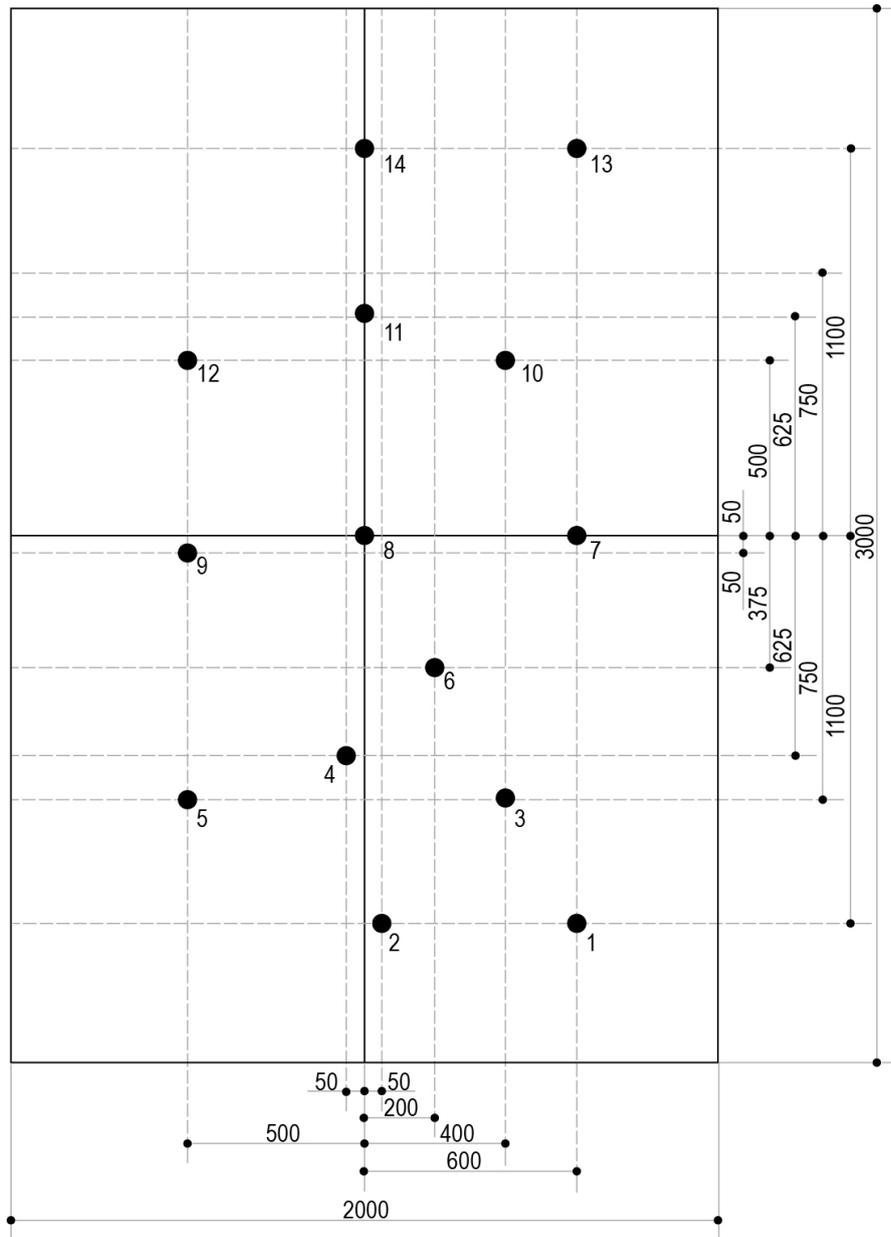


Figura 1.1: Pontos de impacto segundo a norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 [1]

Tabela 1.1: Requisitos estabelecidos pela norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 [1]

Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
$x \leq 75$	$245 \leq x \leq 335$	$x \leq 3900$

Seguindo todas as diretivas da norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016, foram realizados testes utilizando três protótipos de praticável, fornecidos pela empresa Conbego Unipessoal, Lda., de forma a avaliar a possibilidade de homologação pela

FIG. Estes testes serviram também para comprovar a fiabilidade do equipamento utilizado, já que a força máxima foi calculada, utilizando os dados de deslocamento, pela 2<sup>a</sup> lei de Newton e pela aplicação do teorema energia-trabalho. Estes valores comparados com a recolha direta de dados pela célula de carga provaram que este equipamento obtém resultados fiáveis.

Os resultados obtidos durante os testes realizados anteriormente, como se pode observar na Tabela 1.2, cumprem os requisitos estabelecidos pela norma FIG: IV-MAG1-01.01.2016 no que diz respeito à força de impacto e ao ressalto máximo. No que diz respeito à deflexão máxima este praticável não cumpre a norma da FIG, ainda que o valor seja próximo do máximo admissível, pelo que não foi possível a homologação do mesmo pela FIG.

Tabela 1.2: Resultados obtidos no praticável de ginástica original [2]

Ponto	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	82	274	3523
2	77	369	3666
3	79	257	3413
4	77	303	3420
5	80	235	3721
6	75	277	3787
7	83	238	3134
8	77	251	3942
9	84	283	3081
10	76	255	3736
11	79	311	3514
12	81	256	3701
13	86	276	3502
14	77	376	3720
<b>Média</b>	<b>79</b>	<b>283</b>	<b>3561</b>

Os resultados apresentados na Tabela 1.2 dizem respeito ao protótipo que obteve os valores mais próximos dos requisitos da FIG em termos de deflexão. Por esta razão este é o ponto de partida deste projeto, apesar deste protótipo apresentar os valores mais elevados no que diz respeito à força de impacto. Os valores de força de impacto apresentados foram recolhidos pela célula de carga já que este será o equipamento utilizado.

## 1.2 Objetivos

Sendo necessária uma reformulação do praticável de ginástica, surgiu a opção de utilizar materiais recicláveis de forma a ser possível, não só a sua homologação pela FIG, mas também obter vantagens em termos comerciais, assim como as óbvias vantagens ambientais.

Com fim a tornar possível a comparação com estudos realizados anteriormente, foi tomada como referência uma amostra de controlo do praticável original, testando nesta amostra um ponto que se mostrou crítico em análises realizadas no passado. Foi também neste mesmo ponto que foram efetuados todos os ensaios com as diferentes configurações utilizadas, de forma a haver coerência na análise dos resultados.

Tratando-se de um trabalho baseado em ensaios experimentais, as amostras utilizadas foram variando consoante os resultados obtidos, ou seja, os resultados de cada configuração testada foram sendo comparados com os resultados da amostra de controlo de forma a que a cada configuração testada trouxesse resultados cada vez melhores para que se conseguisse, por fim, chegar à melhor solução possível.

O equipamento utilizado nestes testes foi uma máquina de ensaios de impacto por queda livre desenvolvida no DEM e que foi sofrendo melhoramentos ao longo dos anos, alguns deles associados aos testes deste tipo de praticáveis [2; 3; 4].

A máquina de ensaios de impacto foi utilizada com o fim de conseguir retirar valores de força e de posição ao longo dos ensaios de modo a ser possível determinar a força máxima de impacto bem como os valores de deflexão máxima e de ressalto, após o impacto inicial.

# Capítulo 2

## Metodologia Experimental

### 2.1 Equipamento Utilizado

O equipamento utilizado, presente no DEM, consiste numa máquina de ensaios de impacto por queda livre, composta por uma torre de queda que permite a medição da força de impacto, através de uma célula de carga e a medição da posição, utilizando um *encoder* de fio.

Este equipamento foi construído no próprio departamento, no âmbito da unidade curricular do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Tecnologias e Processos de Ligação, tendo sofrido alguns melhoramentos, especificamente para a realização de testes em praticáveis de ginástica efetuados anteriormente [2; 3; 4; 5].

#### 2.1.1 Aparelhos de Recolha de Dados

Nos ensaios realizados, foi largada uma massa de 20 kg sobre os praticáveis de ginástica, de acordo com a norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 [1]. De forma a perfazer esta massa de 20 kg tem de se ter em conta a massa do varão, da célula de carga utilizada e das peças de encaixe da célula no varão, já que todos estes componentes fazem parte da massa em queda livre durante os ensaios, como se pode observar na Figura 2.1. Dado que já tinham sido realizados testes similares utilizando este mesmo equipamento, todos os componentes já existiam e por isso não foi necessário o fabrico de qualquer componente. Restava assim, a decisão sobre qual célula de carga a utilizar, já que no passado foram utilizadas duas células distintas, uma com capacidade máxima de 5 kN e uma segunda com capacidade máxima de 20 kN, sendo que as peças de encaixe também diferem, dada a diferença de massa das duas células.



Figura 2.1: Máquina de ensaios de impacto utilizada - 1) *Encoder* de fio; 2) Laser corta corrente; 3) Varão metálico 4) Célula de carga

Assumindo as forças de impacto registadas em trabalhos anteriores [2], que atingiram máximos acima de 3900 N, como se pode verificar na Tabela 1.2, e tendo em conta que nos primeiros ensaios não seria possível fazer uma previsão teórica de forma simples e credível, optou-se pela utilização da célula de carga com limite de 20 kN, e por isso a utilização das peças de encaixe correspondentes, que como se pode verificar na Figura 2.2 diferem entre as duas células de carga disponíveis.

Para a medição da posição foi utilizado um *encoder* de fio com potenciómetro, que pode ser visto na Figura 2.3. Este equipamento possui um fio enrolado num carreto, sob tensão de uma mola, do qual umas das pontas está ligada ao varão,

que estará em queda livre durante os ensaios, e a outra fixa ao carreto. Quando o fio é desenrolado, por ação dos componentes em queda, o carreto gira criando um sinal elétrico que pode ser traduzido em posição, utilizando o *software* indicado.



Figura 2.2: Célula de carga de 5 kN (à esquerda) e de 20 kN (à direita) com as respectivas peças de encaixe

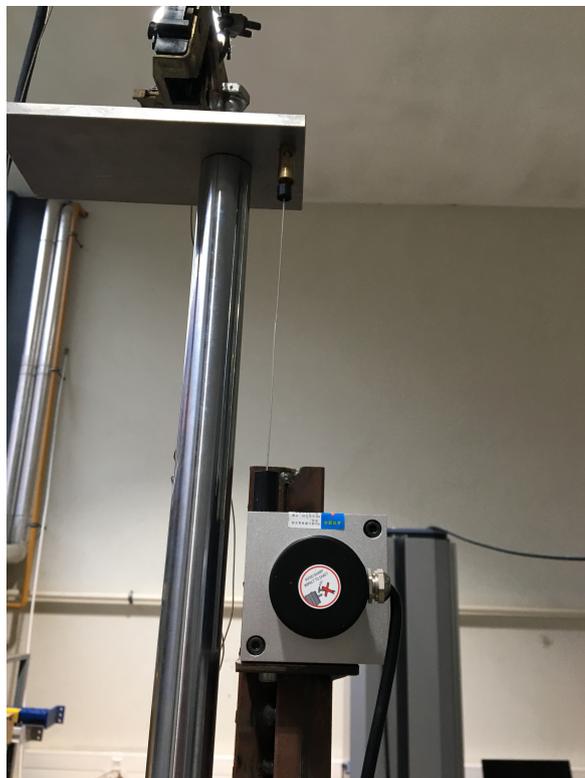


Figura 2.3: *Encoder* de fio

### 2.1.2 Software de Recolha de Dados

A utilização da célula de carga e do *encoder* de fio faz com que seja necessário *software* para a leitura dos dados recolhidos por estes sensores. Ambos os aparelhos de medição geram sinais elétricos que podem ser traduzidos em força e posição, respetivamente, utilizando o *software* NI MAX da *National Instruments*®.

O *software* apresenta, logo após o ensaio, os resultados de forma gráfica, como ilustrado na Figura 2.4, onde se pode observar a azul a curva posição-tempo e a vermelho a curva força-tempo. Isto permite verificar rapidamente os valores obtidos, ainda que de forma muito incerta. Além da parte gráfica, o software apresenta ainda, na parte inferior, a zona de configurações dos aparelhos de recolha de dados e do próprio software. Para uma análise detalhada é necessário exportar os resultados para ficheiros *Excel*®, separadamente para força e posição. Nestes ficheiros temos os valores obtidos em cada um dos instantes do ensaio.

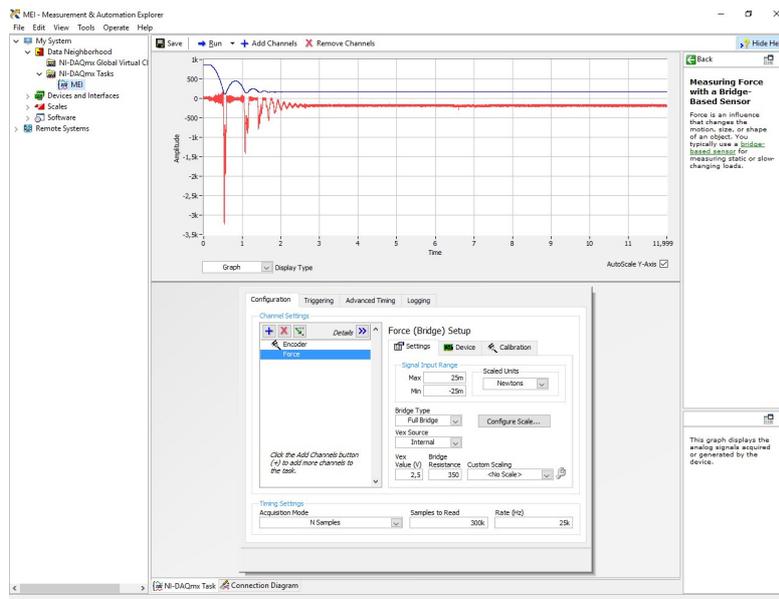


Figura 2.4: Exemplo dos gráficos obtidos no *software* após cada teste

De forma a serem obtidos resultados fidedignos são necessárias calibrações dos sensores, calibrações estas definidas no *software*. Assim, para o *encoder* é necessário definir uma relação entre o sinal elétrico recebido no *software* e a posição do impactor em relação ao chão, que será o plano de referência onde a cota toma o valor de zero. A calibração da célula de carga é similar, ou seja, é necessário criar uma relação entre o sinal recebido e a força que está a ser aplicada. No caso da célula de carga, no entanto, foi necessário recorrer a uma máquina universal de ensaios, a *Shimadzu*® *AG50kN* de forma a saber o valor da força aplicada na célula de carga.

### 2.1.3 Calibração dos Sensores

As calibrações, embora aparentemente semelhantes no sentido em que ambas se baseiam em ler um sinal elétrico, são bastante distintas tanto no equipamento utilizado nas medições de grandezas bem como no modo em que são inseridas no *software*. Para a calibração do *encoder* foi apenas necessária uma fita métrica e um nível, de modo a garantir a perpendicularidade das medições realizadas, sendo que estas medições têm de ser inseridas no campo de calibração do *software* enquanto o impactor está nessa mesma posição, dado que o próprio *software* insere o valor da tensão medida nessa posição. A calibração da célula de carga processa-se de forma bem distinta já que é necessário recorrer à máquina universal de ensaios *Shimadzu*<sup>®</sup> *AG50kN* para aplicar uma determinada força, de forma a comparar esse valor conhecido com o valor que está a ser lido no *software* de aquisição para a partir daí construir a reta de calibração.

A calibração do *encoder* é feita em relação ao plano referência, neste caso o chão, onde a posição é zero. É necessário também definir o ponto de interesse no conjunto em queda, que neste caso será o ponto de impacto do impactor no praticável.

Após as considerações iniciais, é necessário criar vários pontos de referência de forma a criar uma proporcionalidade direta entre a voltagem do sinal elétrico recebido no *software* e a posição real do ponto definido anteriormente em relação ao plano de referência, o chão. Para isto, é necessário mover o impactor desde o plano base até uma altura superior à que será verificada durante os ensaios, passando por vários pontos e registando apenas a posição real nesses mesmos pontos, já que o *software* regista em tempo real a tensão recebida. A calibração efetuada para a realização desta dissertação pode ser vista na Figura 2.5.

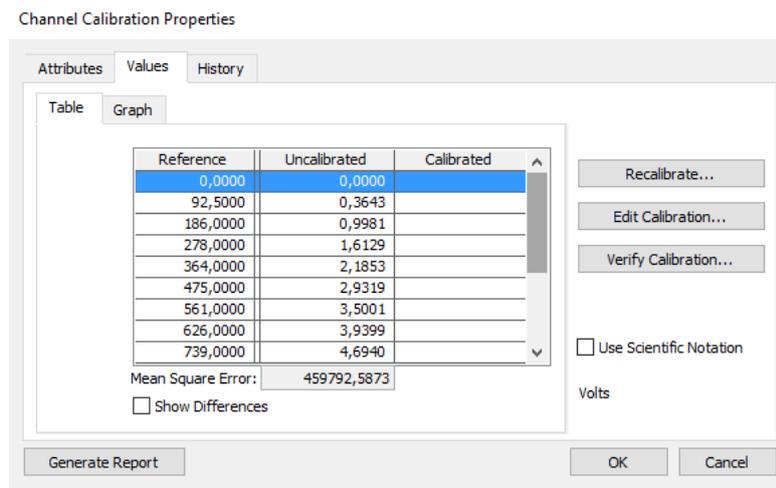


Figura 2.5: Valores de calibração do *encoder*

No processo de calibração da célula de carga começa-se por desmontar o conjunto, constituído pelas peças de encaixe da célula e a própria célula, do varão. Foi

utilizado este conjunto, e não apenas a célula de carga, para a recolha do valor de força na máquina de ensaios universal *Shimadzu*<sup>®</sup> *AG50kN* pois é mais estável e torna o valor de força mais fidedigno, dado que durante os testes a célula de carga vai trabalhar nesta configuração.

Inicialmente foram inseridos valores, que se pensavam próximos dos reais, para a reta de calibração de forma a testar a sua validade. A partir deste ponto foram feitas várias leituras no *software* que foram comparadas com o valor real apresentado na máquina de ensaios universal. Os valores lidos nesta primeira fase foram, como esperado, diferentes do valor real da força aplicada por isso foi necessário um processo iterativo até se chegar a uma curva de calibração que permitisse a leitura de valores de força idênticos aos valores apresentados na máquina de ensaios universal, onde eram aplicadas diferentes forças na célula de carga. Este processo, em teoria, deveria traduzir-se numa reta de calibração, ou seja, seriam utilizados apenas dois pontos na criação da curva, mas em termos práticos a célula comporta-se de forma ligeiramente diferente quando comprimida e tracionada pelo que foi necessário adicionar um ponto médio para que os valores retirados do *software* correspondessem aos valores reais de força lidos na máquina de ensaios universal em ambos os sentidos. Analisando a curva de calibração apresentada na Figura 2.6 pode-se comprovar que os valores extremos estão muito próximos pelo que esta diferença pode ser associada ao funcionamento dos extensómetros no interior da célula de carga.

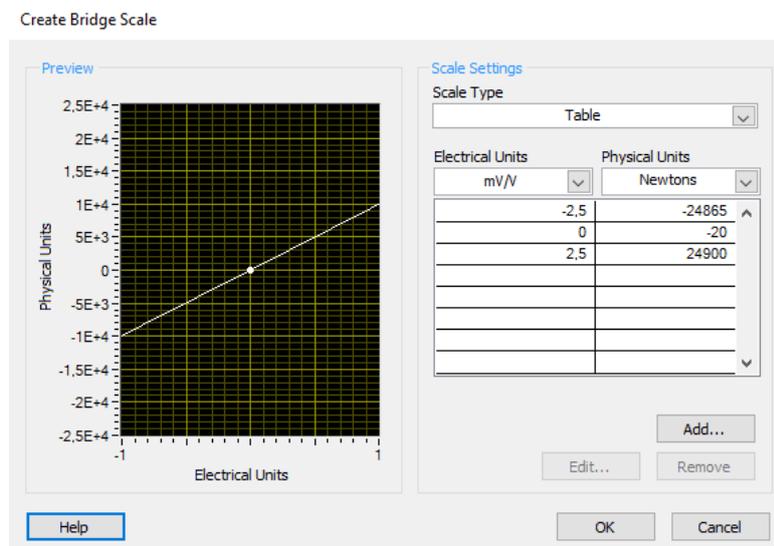


Figura 2.6: Reta de calibração da célula de carga

## 2.2 Metodologia de Testes

### 2.2.1 Definição da Amostra de Controlo

Tendo como ponto de partida o protótipo referido na Secção 1.1, é conhecido o comportamento dos praticáveis de ginástica na sua configuração original, como apresentado na Tabela 1.2, nos diferentes pontos de impacto.

Na escolha desta amostra de controlo foi importante ter em conta que o objetivo principal deste trabalho é a comparação de várias opções de construção dos praticáveis de ginástica e não testar os vários pontos de um praticável de grandes dimensões, como dita a norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016.

A amostra fornecida pela empresa Conbego Unipessoal, Lda. que foi testada de acordo com a norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 tem as dimensões de 3 por 2 metros [1], sendo constituída por várias peças. Como se pode observar na Figura 2.7 o estrado inferior, ao qual estão aparafusadas as molas, é constituído por quatro placas de madeira (contraplacado marítimo) de dimensões inferiores.



Figura 2.7: Montagem dos estrados inferiores

Para a amostra de controlo foi utilizado apenas uma das placas inferiores e respectivas molas. As grandes dimensões das placas superiores, que se podem observar na Figura 2.8, e dos colchões, mostrados na Figura 2.9, justificam esta decisão já que se tornaria muito difícil obter as amostras necessárias, que viriam a ser testadas. Além deste fator teve-se também em atenção a facilidade de manuseamento da amostra durante os vários passos do processo de testes, bem como o facto deste trabalho se focar numa comparação direta entre várias configurações do praticável, pelo que se tornaria desnecessariamente trabalhoso fazer esta comparação utilizando a dimensão total do praticável.



Figura 2.8: Montagem das placas superiores

Além do estrado a utilizar foi também necessário escolher o ponto de impacto a ser analisado durante os testes. Aqui, mais uma vez, foi tida em conta a informação recolhida em trabalhos anteriores, presente na Tabela 1.2, de forma a encontrar um ponto crítico, ou seja, onde o valor de deflexão foi bastante elevado. Por este motivo, e tendo em conta que só se utilizaria um estrado inferior, foi escolhido o ponto central da amostra como ponto de estudo, como se pode observar na Figura 2.10. Este ponto pode ser equiparado ao ponto 5 apresentado na Tabela 1.2, onde se pode observar um dos maiores valores de deflexão bem como de força de impacto.



Figura 2.9: Montagem dos colchões de espuma polimérica



Figura 2.10: Ponto de impacto utilizado durante os ensaios realizados

Tendo sido definida a amostra a utilizar, foi montada uma réplica do praticável de ginástica utilizado em testes anteriores [2; 3; 4; 5]. Para esta amostra de controlo

foi utilizado um estrado inferior, uma placa superior, um colchão e uma alcatifa, como se pode verificar na Figura 2.11. Todos os componentes utilizados têm as mesmas dimensões, alinhando-se com o estrado inferior.

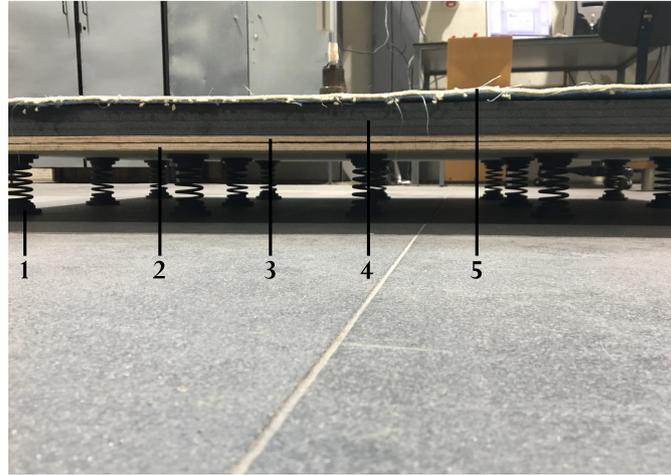


Figura 2.11: Constituição da amostra de controlo - 1) Molas helicoidais; 2) Placa de madeira inferior; 3) Placa de madeira superior; 4) Colchão de espuma polimérica; 5) Alcatifa.

### 2.2.2 Escolha de Materias a Utilizar

Os praticáveis de ginástica originais eram compostos por molas helicoidais com encaixes poliméricos, estrados de madeira, colchão de espuma polimérica e uma alcatifa. Dentro destes componentes as molas e a alcatifa não podem ser alterados, já que as molas são um componente fundamental no conjunto, ao trazerem grande parte da flexibilidade ao praticável, e a alcatifa, sendo o ponto de contacto do ginasta com o piso, traz características de aderência e de conforto necessários à prática da modalidade tendo ainda de apresentar um equilíbrio entre aderência e deslizamento, como referido pela norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 [1]. Os estrados de madeira já utilizados na construção deste tipo de praticáveis, para além de trazerem rigidez estrutural ao conjunto, sendo feitos em madeira, já são recicláveis pelo que não traz qualquer tipo de vantagem alterar este componente.

O colchão de espuma polimérica, sendo o componente não reciclável mais proeminente no conjunto, foi o escolhido para ser substituído por um material reciclável. Dadas a exigências deste componente em termos elásticos e ainda a necessidade de não deformar plasticamente, uma das primeiras soluções tidas em conta em termos de material reciclável a utilizar foi a cortiça, já que este material é muitas vezes utilizado como alternativa natural a materiais sintéticos com requisitos similares [6].

A cortiça, sendo um material natural, “amigo” do ambiente e reciclável torna-se a escolha ideal em termos ecológicos. A cortiça possui também propriedades mecânicas que, à primeira vista, fazem com que seja um material apropriado a

este tipo de aplicação, já que para além de possuir propriedades elásticas desejáveis, apresenta uma deformação plástica mínima [7; 8], o que é uma qualidade de extrema importância neste tipo de aplicação. Na Figura 2.12 pode-se observar a curva tensão-deformação típica de um material como a cortiça, denominado viscoelástico. Este tipo de materiais apresentam uma curva tensão-deformação dividida em três fases, a zona linear elástica, a zona de deformação quase constante (patamar ou *plateau*) e a zona de densificação onde há um aumento substancial da tensão para pequenas variações de tensão.

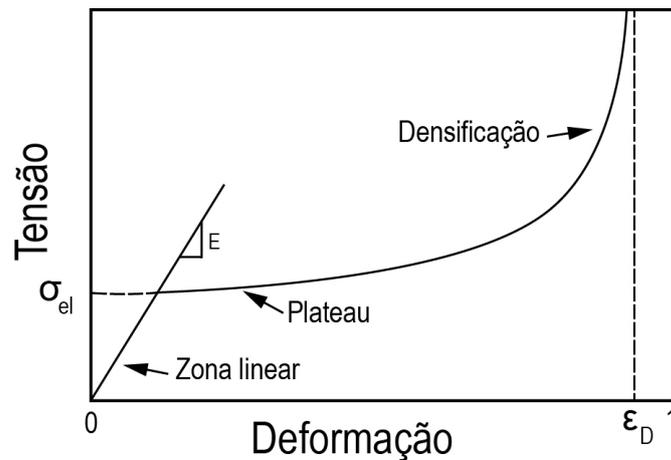


Figura 2.12: Curva tensão-deformação típica de um material viscoelástico à compressão - adaptado de [9].  $E$  é o módulo de elasticidade;  $\sigma_{el}$  é a tensão limite elástica;  $\epsilon_D$  é a deformação de densificação

As principais características dos materiais aglomerados de cortiça a considerar, no que diz respeito a comportamento mecânico, são a densidade e o tamanho do grão que constitui o material. Há ainda outras propriedades que devem ser tidas em conta, nomeadamente o tipo de agente aglomerante utilizado e a quantidade do mesmo, já que estes também influenciam as propriedades mecânicas do aglomerado [7; 8]. No entanto, a informação fornecida pelas empresas produtoras de aglomerados de cortiça apenas se refere à densidade e ao tamanho do grão, sendo que mesmo esta informação pode não ser muito exata, já que é do interesse destas empresas manterem algum sigilo por razões de concorrência comercial.

Tendo em conta a variação de densidade de vários tipos de aglomerado, como se pode verificar na Figura 2.13, com um aumento de densidade obtém-se uma menor deformação quando aplicada a mesma força. Dado que o principal objetivo será diminuir a deflexão do praticável é previsível que utilizando um aglomerado com maior densidade se obtenham os melhores resultados neste parâmetro, no entanto um aglomerado com uma densidade demasiado alta pode diminuir demasiado a deflexão o que irá resultar num valor de força de impacto acima do pretendido. Assim, é importante testar aglomerados com várias densidades de forma a perceber qual traz a melhor relação entre deflexão e força de impacto.

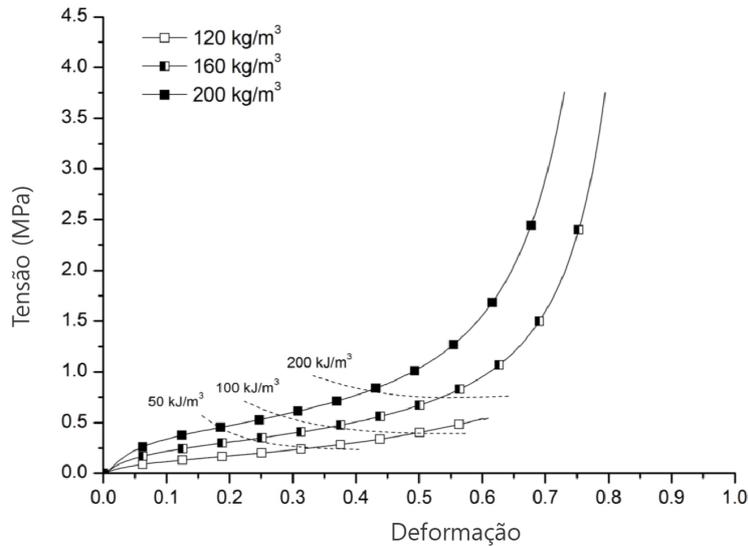


Figura 2.13: Influência da densidade do aglomerado no comportamento do aglomerado de cortiça à compressão - adaptado de [7; 8]

O grão utilizado na composição do aglomerado influencia a deformação de forma a que com um aumento do tamanho há também uma diminuição da deformação, como ilustrado na Figura 2.14. Na seleção de um aglomerado para a aplicação em estudo, a escolha do tamanho do grão será, idealmente, feita após perceber a influência da densidade nos resultados obtidos, ou seja, no caso de haver necessidade de diminuir ainda mais a deflexão após a utilização de um aglomerado com alta densidade, será benéfico utilizar um aglomerado com alta densidade e com grão grande. Pelo contrário, se for necessário aumentar a deflexão verificada num aglomerado de baixa densidade terá de se optar por um grão pequeno.

Para além da densidade do aglomerado e do tamanho de grão utilizado, outros fatores de grande importância são o tipo de aglomerante utilizado bem como a percentagem do mesmo, como se pode observar nas Figuras 2.15 e 2.16, respetivamente. Estes fatores, ainda que tenham bastante influência no comportamento do aglomerado, não podem ser controlados já que os fabricantes, por norma, não divulgam esta informação. É apenas possível controlar todos os parâmetros referidos no caso de haver um fabrico próprio do aglomerado, no entanto só é benéfico partir para um fabrico próprio após a avaliação de aglomerados existentes.

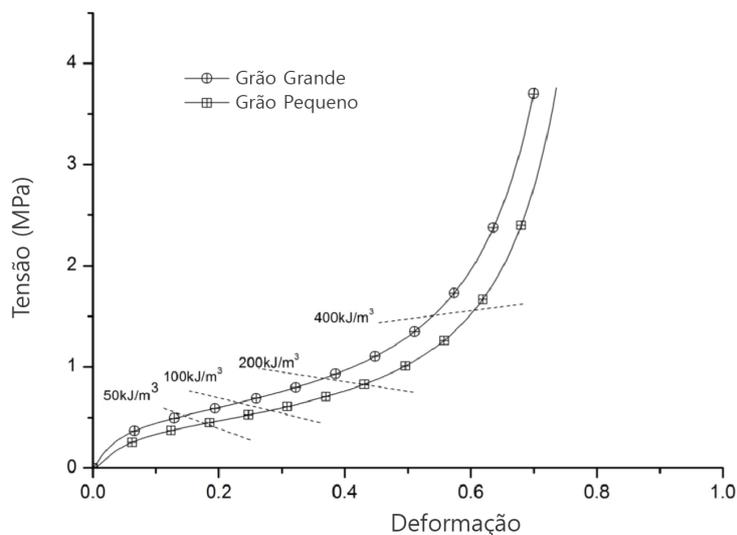


Figura 2.14: Influência do tamanho do grão no comportamento do aglomerado de cortiça à compressão - adaptado de [7; 8]

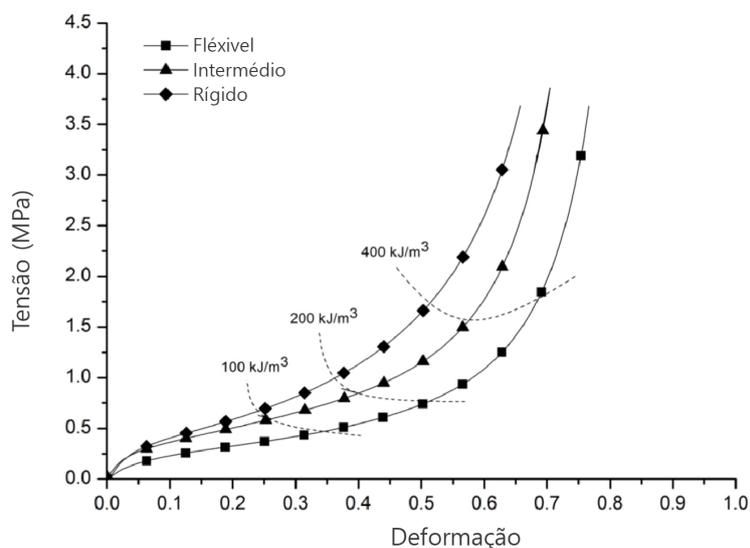


Figura 2.15: Influência do tipo de agente aglomerante no comportamento do aglomerado de cortiça à compressão - adaptado de [7; 8]

Existem outros aspetos, além das propriedades mecânicas da cortiça e do facto de ser um material ambientalmente irrepreensível, de extrema importância, a nível comercial, económico e de inovação, que é o facto de este ser um produto com grande importância para o país principalmente ao nível da exportação. Portugal é um dos maiores produtores de cortiça, sendo responsável por cerca de 50% da produção a nível mundial. O país é também líder no que diz respeito a exportação,

enviando cortiça natural e derivados para mais de 130 países, o que equivale a uma quota de aproximadamente 65% a nível mundial, cerca de 1% do total nacional de exportações [10; 11]. Assim, sempre que a um produto é adicionada cortiça, torna-se também uma mais valia para a economia nacional. Além dos fatores económicos há ainda um grande interesse internacional neste produto, como demonstrado pelos números referentes à sua exportação, pelo que se torna também uma mais valia em termos comerciais.

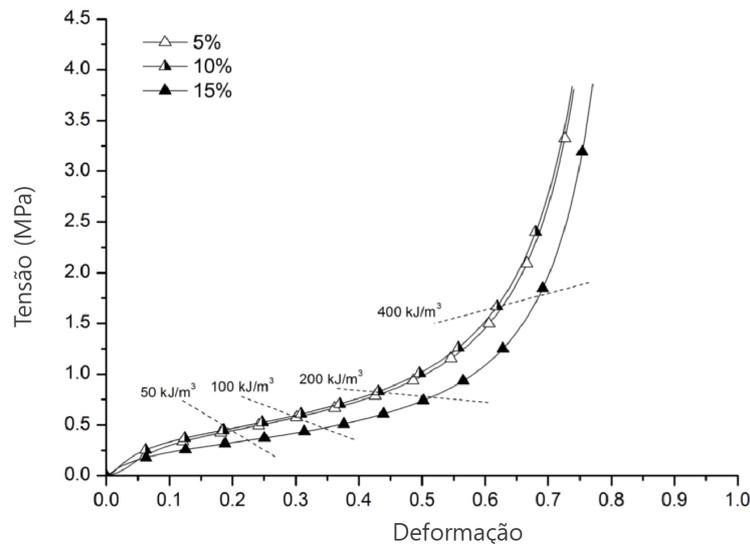


Figura 2.16: Influência da percentagem de aglomerante no comportamento do aglomerado de cortiça à compressão - adaptado de [7; 8]

### 2.2.3 Determinação da Metodologia de Testes

Os testes realizados serão baseados em comparações diretas, já que o comportamento de cada tipo de cortiça, em conjunto com as diferentes configurações possíveis dos praticáveis, é desconhecido. Assim, o ponto de partida será a substituição direta, na amostra de controlo, do colchão de espuma polimérica por uma placa de cortiça existente no DEM.

Obtidos os resultados do teste com a primeira amostra utilizando uma placa de cortiça, serão comparados com a amostra de controlo de forma a garantir que a aplicação de cortiça se trata de um opção viável. Além deste primeiro ensaio comparativo é necessário verificar que, ao longo dos dez testes necessários de acordo com norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 [1], a cortiça não sofre deformação plástica que altere significativamente os resultados ao longo dos dez testes, impossibilitando assim a sua utilização.

De seguida será necessário comparar esses mesmos resultados com uma segunda placa de cortiça, também existente no DEM. Com este segundo teste pretende-se comparar os resultados obtidos ao mesmo tempo que se analisam as propriedades

de cada uma das placas de cortiça de forma a saber como variam os resultados com a alteração da densidade e do tamanho do grão. Após esta comparação direta é importante também testar o efeito da espessura da placa de cortiça, pelo que foi utilizada uma das placas com metade da espessura. A partir dos dados obtidos até aqui podem ser obtidas novas placas de cortiça mais adequadas a esta aplicação, recorrendo a empresas produtoras deste material.

Além da variedade de placas de cortiça, a amostra do praticável utilizada permite também a alteração de outros componentes de forma observar a variação nos resultados. Componentes como a placa superior e as molas podem ser retirados ou adicionados conforme os resultados obtidos de forma a tentar obter a melhor configuração possível com fim a melhorar os resultados dos testes.



# Capítulo 3

## Procedimento Experimental

A realização dos testes de impacto seguiu a norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016 [1], no que diz respeito ao tipo de impactor e à altura de queda, de forma a manter uma comparação direta com os trabalhos realizados anteriormente [2]. Assim, os ensaios de impacto realizaram-se com um impactor de 20 kg em queda livre de uma altura de 800 mm.

As amostras dos praticáveis, ao sofrerem variações no tipo de cortiça utilizado bem como na construção do próprio, têm alturas diferentes pelo que é importante, de cada vez que se altera a amostra em teste, medir a altura dessa mesma amostra, que será o plano de referência para os ensaios onde a deflexão e o ressalto são nulos. A altura de 800 mm de onde é soltado o impactor também é medida a partir do mesmo plano de referência, pelo que é necessário ajustar essa altura em cada uma das variações testadas.

### 3.1 Amostras Utilizadas

Os testes realizados sofreram um processo iterativo, no que se refere ao tipo de cortiça utilizado e à construção do praticável em cada teste, de forma a conseguir chegar à melhor configuração. Durante estes testes foram utilizadas vários tipos de cortiça, como se pode verificar na Tabela 3.1. O primeiro campo apresentado na Tabela 3.1 refere-se à referência comercial do fabricante de cada tipo de cortiça, o tamanho do grão é uma gama de valores dado que na indústria é esta a terminologia utilizada. Quanto à espessura e densidade, estas grandezas são medidas em cada placa utilizada, sendo que para a determinação da densidade é utilizada uma pequena amostra da placa com 250 mm de comprimento e 50 mm de largura. As diferentes placas de cortiça foram utilizadas na construção de várias amostras de praticáveis, que se encontram listadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.1: Características das amostras de cortiça utilizadas

	<b>Espessura [mm]</b>	<b>Tamanho do grão [mm]</b>	<b>Densidade [kg/m<sup>3</sup>]</b>
<b>8003</b>	60	2 - 4	215
<b>8822</b>	60	0,5 - 1	200
<b>8822</b>	30	0,5 - 1	200
<b>NL10</b>	60	2 - 4	150
<b>AC199</b>	60	0,5 - 1	210
<b>AC199</b>	80	0,5 - 1	210

Tabela 3.2: Características das amostras testadas

	<b>Nº de placas de madeira</b>	<b>Cortiça</b>	<b>Molas</b>
<b>Amostra 1</b>	2	8822 (60 mm)	Todas
<b>Amostra 2</b>	1	8822 (60 mm)	Todas
<b>Amostra 3</b>	1	8003	Todas
<b>Amostra 4</b>	1	8822 (30 mm)	Todas
<b>Amostra 5</b>	1	8822 (60 mm)	Sem mola central
<b>Amostra 6</b>	2	8822 (60 mm)	Sem mola central
<b>Amostra 7</b>	1	NL10	Todas
<b>Amostra 8</b>	1	AC199 (60 mm)	Todas
<b>Amostra 9</b>	1	AC199 (80 mm)	Todas

No primeiro teste realizado foi utilizada a Amostra 1, de acordo com a Tabela 3.2. Os resultados obtidos, no que diz respeito à força de impacto, estavam muito acima do esperado, dada a maior rigidez da cortiça comparativamente com os colchões de espuma polimérica, pelo que foi retirado a placa superior, formando a Amostra 2, de forma a ser possível avaliar as diferenças.

Até uma fase já avançada deste projeto, os únicos tipos de cortiça disponíveis no DEM eram a 8002 e a 8822, fornecidas previamente pela Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A., pelo que foram efetuados o máximo de variações possíveis utilizando estes dois tipos de cortiça. Uma das alterações foi retirar a mola central, aparafusada na placa inferior, de forma a avaliar o impacto que esta apresenta nos resultados. Além disso foi também testada a cortiça 8822 com metade da espessura. Assim, para além das Amostras 1 e 2, obtiveram-se as Amostras 3, 4, 5 e 6. Esta variedade de amostras permitiu perceber qual a melhor configuração do praticável, além de proporcionar uma comparação dos dois tipos de cortiça ao longo dos diferentes testes.

Após todos os ensaios realizados utilizando a amostra de controlo e as amostras construídas até aqui, foram cedidas amostras adicionais, uma delas pela Corticeira

Amorim, S.G.P.S., S.A., a NL10 [12], e outras duas pela CORKSTRIBAS, Indústria Granuladora de Cortiça, S.A., a AC199 com 60 e 80 mm de espessura, as quais foram utilizadas seguindo a configuração que se mostrou mais benéfica nos ensaios realizados anteriormente, resultando assim nas amostras 7, 8 e 9, respetivamente.

## 3.2 Realização de Testes de Impacto

O processo de realização dos ensaios de impacto inicia-se com a determinação do plano de referência, ou seja, a altura da amostra a ser testada. Este primeiro passo é de extrema importância já que os cálculos de deflexão e de ressalto dependem desta medição inicial. De forma a conseguir obter esta medida de forma fidedigna e coerente com a realização dos testes, é utilizada a máquina de ensaio de impacto, baixando o impactor até a um ponto em que este toque no praticável mas não exerça força no mesmo. Com o impactor neste ponto, é feita a medição através do *software*, obtendo assim o plano de referência para os testes.

Nos testes realizados, o impactor tem de ser libertado de uma altura de 800 mm, medida a partir da superfície do praticável, pelo que é utilizado o plano de referência obtido anteriormente. O impactor é subido até à altura desejada onde é retirada a medição do *software* de forma a comprovar que esta é de facto de 800 mm. Com esta altura determinada é colocado o laser, que serve de corta corrente para o guincho, alinhado com o impactor de forma a que quando o guincho é subido este pare sempre a 800 mm da superfície do praticável. Este método permite a repetibilidade ao longo de cada série de testes sem necessidade de confirmar a altura a cada ensaio realizado.

As medições efetuadas para obter o plano de referência bem como a altura de 800 mm de onde será largado o impactor são obtidas utilizando o *software* NI MAX da *National Instruments*<sup>®</sup>, do qual são retirados 300000 medições à taxa de 25 kHz (ao longo de 12 segundos). Os dados obtidos através do *software* são exportados para um ficheiro de *Microsoft Office Excel*<sup>®</sup> onde é calculada a média destas 300000 medições, o que permite uma medição de grande fiabilidade.

Realizadas as medições de referência iniciais, pode ser iniciada cada série de ensaios. Cada ensaio começa com o acionamento do *software* NI MAX da *National Instruments*<sup>®</sup> para que comece a recolha de dados de força e posição. De seguida o impactor é largado puxando um fio acoplado a uma fechadura (ou trinco), que se abre largando o impactor em queda livre.

Assim que o *software* acaba a recolha de dados, este mostra os gráficos dos dados recolhidos, como se pode observar na Figura 3.1 (a vermelho a força e a azul a posição). É necessário exportar cada conjunto de dados para um ficheiro de *Excel*<sup>®</sup>. Neste momento resta apenas acoplar novamente a fechadura ao impactor e subir o conjunto, utilizando o guincho, até à posição inicial para que se possa repetir o ensaio.

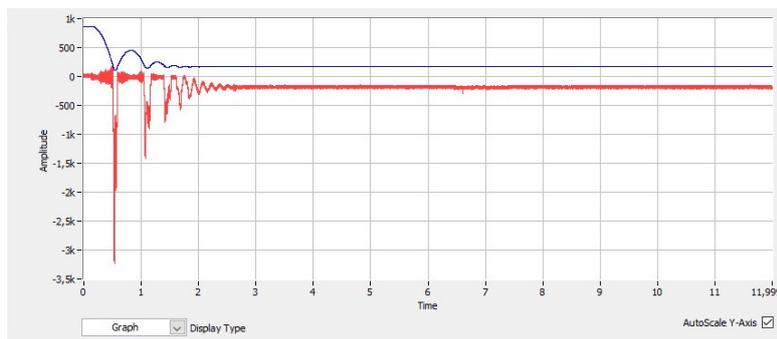


Figura 3.1: Gráficos mostrados pelo *software* de recolha de dados

Tendo os dados de força e posição em ficheiros *Excel* é necessário proceder a uma análise que consiste em isolar o conjunto de valores desde o momento em que é largado o impactor até, pelo menos, ao primeiro ressalto. Dada a quantidade de resultados obtidos é importante isolar apenas o conjunto necessário para a análise, que começa com a largada do impactor e acaba após o primeiro ressalto do impactor no praticável. Utilizando este subconjunto de dados são retirados os pontos de força máxima, posição mínima e posição máxima (após o primeiro impacto). Os pontos de posição mínima e máxima retirados são utilizados para calcular a deflexão e o ressalto máximos, recorrendo ao plano de referência medido antes do início dos ensaios.

Para cada série de ensaios é calculada a média dos valores de força máxima, deflexão máxima e ressalto máximo bem como o desvio padrão de cada um destes valores, de forma a verificar a fiabilidade de cada teste.

# Capítulo 4

## Análise de Dados

Para o primeiro ensaio realizado foi utilizada a amostra de controlo, com espuma polimérica como pode ser visto na Figura 2.11. Este ensaio servirá de termo de comparação para todos os ensaios realizados com as amostras referidas na Tabela 3.2. Os resultados aqui obtidos são também de grande importância na medida em que validam a amostra de controlo escolhida quando comparados com os resultados mostrados na Tabela 1.2. Estes resultados estão muito próximos dos resultados médios recolhidos anteriormente, como ilustrado na Tabela 4.1. Ainda que o resultado da força esteja um pouco distante do valor médio obtido anteriormente, esta diferença é explicada pela diferença na construção da amostra de controlo.

É ainda importante comparar estes valores com o ponto 5 referido na Secção 1.1, sendo que este é, no praticável original, o valor central de um dos estrados inferiores, como se pode ver na Figura 1.1, ainda que as placas superiores não estejam montadas da mesma forma. Assim, este torna-se o ponto de comparação mais direta possível. Comparando os resultados obtidos com os valores no ponto 5 entende-se que estes são aceitáveis já que o valor da força, que mais difere da média, é exatamente igual ao valor de força neste ponto.

Com a análise dos resultados médios, no ponto 5 e na amostra de controlo, pode-se verificar que este processo é uma aproximação válida à situação de testes real definida pela norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016. Posto isto, é válido que qualquer comparação com esta amostra de controlo possa ser também verdadeira em relação ao praticável original.

Tabela 4.1: Comparação dos resultados da amostra de controlo com as referências do praticável original

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
Amostra de controlo	72	285	3721
Ponto 5 do praticável original	80	235	3721
Média final de todos os 14 pontos do praticável original	79	283	3561

A amostra 1, serviu não só de comparação direta da cortiça com o colchão polimérico mas também como demonstração que as propriedades viscoelásticas da cortiça a tornam capaz de resistir aos dez impactos necessários durante os testes de acordo com a norma da FIG. Pode-se verificar, pela análise da Tabela 4.2, que todos os valores apresentados são consistentes ao longo dos dez ensaios, pelo que a cortiça se torna uma opção viável no que toca ao seu comportamento ao longo de uma série de testes. No que diz respeito à comparação com a amostra de controlo, Tabela 4.1, esta amostra apresenta valores que se encontram extremamente longe do desejável. Ainda que o valor da deflexão não tenha um requisito mínimo definido, na Tabela 1.1 e respeite, de longe, o requisito máximo, é natural que para que seja possível cumprir o valor mínimo de ressalto, o valor de deflexão tenha de ser bastante mais elevado. Assim, a substituição direta do colchão de espuma polimérica por uma placa de cortiça encontra-se descartado.

Tabela 4.2: Resultados da amostra 1 ao longo de 10 ensaios

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	46	146	4952
2	46	156	5119
3	46	172	5010
4	46	165	5043
5	46	158	4919
6	46	167	5071
7	46	159	5144
8	46	157	5229
9	46	162	5185
10	46	165	5029
<b>Média</b>	<b>46</b>	<b>161</b>	<b>5070</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,28</b>	<b>6,89</b>	<b>94,40</b>

Analisando os resultado obtidos no ensaio com a amostra 1, é notório que a cortiça confere ao praticável uma rigidez adicional, comparativamente com o colchão de espuma polimérica, o que faz com o que o valor de força de impacto

aumente e conseqüentemente os valores de deflexão e ressalto diminuam. Assim, uma forma de resolver este problema é diminuir a rigidez do conjunto, retirando a placa superior de madeira presente nesta amostra. Esta é a única diferença entre as amostras 1 e 2, o que torna possível analisar o impacto deste componente no conjunto. Assim, observando a Tabela 4.3, pode-se verificar uma melhoria significativa nos resultados em relação aos da amostra 1, pelo que se pode concluir que retirando a placa superior se reduz, de facto, a rigidez do praticável, apresentando um valor de força de impacto inferior ao registado utilizando a amostra 1.

Tabela 4.3: Comparação dos resultados da amostra 1 e amostra 2

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
Amostra de Controlo	72	285	3721
Amostra 1	46	161	5070
Amostra 2	55	236	4376

Apesar das melhorias conseguidas com a amostra 2, os resultados ainda se encontram algo distantes dos obtidos com a amostra de controlo embora seja evidente que com a diminuição de rigidez, ao retirar o estrado superior, se verifica uma melhoria. Comparando estes resultados com os requisitos da FIG, apresentados na Tabela 1.1, no que diz respeito ao ressalto e à força de impacto, os resultados da amostra 2 já se encontram próximos do pretendido, sendo que a deflexão ainda pode aumentar permitindo uma diminuição da força de impacto.

Com estes resultados, que se mostraram promissores, foi construída a amostra 3 mantendo apenas o estrado inferior, mas alterando desta feita o tipo de cortiça utilizado, passando da 8822 para a 8003, com a mesma espessura de 60 mm. A utilização deste tipo de cortiça trouxe resultados menos favoráveis em relação ao tipo de cortiça utilizado na amostra 2, como se pode constatar na Tabela 4.4. Os valores podem ser explicados pelo facto da cortiça 8003 ter uma densidade ligeiramente superior, o que traz menor capacidade de contração, mas sobretudo ao facto de ser constituída por grãos de maior dimensão.

Tabela 4.4: Comparação dos resultados da amostra 2 e amostra 3

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
Amostra de Controlo	72	285	3721
Amostra 2	55	236	4376
Amostra 3	53	219	4491

Para a amostra 4, voltou-se a utilizar a cortiça 8822, já que trouxe os melhores resultados até este ponto, mas desta vez com metade da espessura de forma a entender o efeito deste parâmetro nos testes realizados. Pela análise da Tabela 4.5 pode-se concluir que ao diminuir a espessura, diminui também a capacidade de absorção de impacto da cortiça, como é evidenciado pelo valor de força de impacto apresentado. O valor de ressalto obtido aumentou consideravelmente, permitindo

cumprir este requisito da FIG, mas isto acontece à custa de uma maior força de impacto, o que não é aceitável. Tendo isto em conta, mantém-se, assim, a amostra 2 como a mais apropriada a esta aplicação sendo a que apresenta valores mais próximos da amostra de controlo, ainda que não cumpra os requisitos da FIG, apresentados na Tabela 1.1,

Tabela 4.5: Comparação dos resultados da amostra 2 e amostra 4

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
Amostra de Controlo	72	285	3721
Amostra 2	55	236	4376
Amostra 4	60	314	4811

Após as várias alterações efetuadas até este ponto surge a necessidade de testar o impacto das molas no conjunto. Não querendo alterar de forma permanente o praticável, o que impossibilitaria testes futuros com o estrado inferior original, foi decidido retirar a mola central, por ser a mais próxima do ponto de impacto, de forma a avaliar a melhoria em termos de flexibilidade do praticável no ponto de impacto. Assim, a amostra 5 é constituída de forma idêntica à amostra 2, sendo apenas retirada a mola central aparafusada no estrado inferior, como ilustrado na Figura 4.1. Esta alteração mostrou-se bastante benéfica já que coloca esta amostra muito próxima da amostra de controlo no que diz respeito aos resultados obtidos.

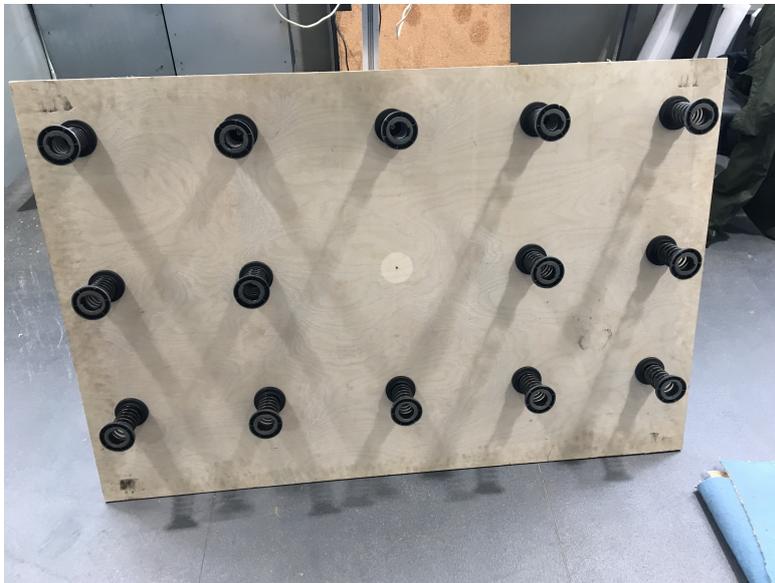


Figura 4.1: Estrado inferior sem a mola central

Apesar dos resultados positivos é importante salientar que este ensaio serve apenas para analisar a contribuição das molas helicoidais nos resultados obtidos, dado que a mola retirada se encontrava numa posição ideal para permitir uma maior capacidade de deflexão durante a realização dos testes. Tendo isto em

conta, estes resultados são bastantes importantes já que mostram que ao alterar a disposição e/ou características das molas se podem vir a obter resultados bastante positivos. Ainda assim, esta opção não foi considerada já que seria uma alteração permanente às características do praticável, como foi referido anteriormente, o que não é desejável antes de esgotar as possibilidades de alterações não permanentes.

Tabela 4.6: Comparação dos resultados da amostra 2 e amostra 5

	<b>Deflexão [mm]</b>	<b>Ressalto [mm]</b>	<b>Força [N]</b>
Amostra de Controlo	72	285	3721
Amostra 2	55	236	4376
Amostra 5	60	246	3922

Dados os resultados positivos obtidos retirando a mola central do estrado inferior, foi testada a amostra 6, adicionando à amostra 5 a placa superior. Esta amostra serviu apenas para analisar, mais uma vez, a influência da madeira superior. Analisando a Tabela 4.7 pode-se verificar que de facto, a placa superior confere uma rigidez muito elevada ao praticável, o que é bastante negativo nos resultados obtidos. Comparando os resultados obtidos com a amostra 6 com a amostra 5 é notório o grande aumento da força de impacto, pelo que a opção de utilizar a madeira superior está definitivamente descartada.

Tabela 4.7: Comparação dos resultados da amostra 5 e amostra 6

	<b>Deflexão [mm]</b>	<b>Ressalto [mm]</b>	<b>Força [N]</b>
Amostra de Controlo	72	285	3721
Amostra 5	60	246	3922
Amostra 6	50	172	4852

Tendo sido testadas alterações nos vários componentes do praticável, seguiu-se a utilização de diferentes tipos de cortiça de forma a avaliar o impacto da densidade nos resultados obtidos. Assim, foram utilizadas as amostras 7 e 8 compostas pela cortiça NL10 e AC199, respetivamente. Pela análise da Tabela 4.8 pode-se verificar que apesar das características da cortiça 8822 e da AC199 serem bastante similares, e consequentemente as amostras 2 e 8 também o serem, os resultados obtidos variam ligeiramente. Esta variação está relacionada com o tamanho do grão, que varia entre 2 e 4 mm sem haver forma de confirmar com exatidão o tamanho do grão em cada um dos tipos de cortiça, já que não há nenhum outro fator que tenha sofrido alteração entre os dois ensaios. Quanto à amostra 7, composta pela cortiça NL10, apesar de ser composta por grãos maiores, o que não se mostrou benéfico ao analisar os resultados obtidos com a amostra 3, apresentados na Tabela 4.4, este facto é compensado pela baixa densidade deste tipo de cortiça, pelo que os resultados são melhores em relação aos obtidos com a amostra 3, mas ainda assim são piores que os obtidos com a amostra 2 e 8.

Tabela 4.8: Comparação dos resultados da amostra 7 e amostra 8

	<b>Deflexão [mm]</b>	<b>Ressalto [mm]</b>	<b>Força [N]</b>
Amostra de Controlo	72	285	3721
Amostra 2	55	236	4376
Amostra 7	61	278	4391
Amostra 8	56	241	4217

Efetuados os ensaios com os diferentes tipo de cortiça, fica a faltar testar o efeito do aumento da espessura, pelo que foi utilizada na amostra 9 a cortiça AC199 mas desta vez com uma espessura de 80 mm. Os resultados obtidos foram piores em relação aos obtidos com a amostra 8, constituída pelo mesmo tipo de cortiça, tendo a força atingido um valor máximo quase tão elevado como o obtido com a amostra 4, em que foi utilizada a cortiça 8822 com apenas 30 mm de espessura. Assim, a espessura utilizada na maioria dos ensaios, 60 mm, mostrou-se próxima senão mesmo ideal para este tipo de aplicação.

Tabela 4.9: Comparação dos resultados da amostra 8 e amostra 9

	<b>Deflexão [mm]</b>	<b>Ressalto [mm]</b>	<b>Força [N]</b>
Amostra de Controlo	72	285	3721
Amostra 4	60	314	4811
Amostra 8	56	241	4217
Amostra 9	53	218	4771

# Capítulo 5

## Conclusões e Trabalhos Futuros

Nos testes realizados anteriormente [2], apresentados na Secção 1.1, a deflexão não cumpriu os requisitos estabelecidos pela FIG, a força de impacto cumpriu os requisitos embora o valor obtido seja próximo do limite e o ressalto cumpre os requisitos bem dentro dos limites impostos. Tendo isto em conta, o resultado ideal, comparativamente com o obtido com a amostra de controlo testada, seria obter uma deflexão menor e uma força de impacto idêntica, à custa de uma ligeira alteração do valor do ressalto.

Analisando a totalidade dos resultados obtidos, compilados na Tabela 5.1, pode-se verificar que no que diz respeito à deflexão, em todos os ensaios realizados este parâmetro é inferior à amostra de controlo, como pretendido.

Tabela 5.1: Comparação dos resultados de todas as amostras testadas

	<b>Deflexão [mm]</b>	<b>DP</b>	<b>Ressalto [mm]</b>	<b>DP</b>	<b>Força [N]</b>	<b>DP</b>
Controlo	72	0,24	285	1,48	3721	40,95
Amostra 1	46	0,28	161	6,89	5070	94,40
Amostra 2	55	0,07	236	1,25	4376	67,18
Amostra 3	53	0,04	219	1,36	4491	142,73
Amostra 4	60	0,32	314	8,71	4811	88,97
Amostra 5	60	0,27	246	4,69	3922	28,60
Amostra 6	50	0,15	172	0,56	4852	128,45
Amostra 7	61	0,28	278	3,07	4391	124,53
Amostra 8	56	0,12	241	3,34	4217	32,16
Amostra 9	53	0,21	218	0,46	4771	23,46

Quanto aos resultados da força de impacto, é importante analisar a comparação estabelecida na Tabela 4.1, onde se pode observar que o valor de força de impacto médio obtido com o praticável original é inferior ao obtido com a amostra de controlo em 160 N, pelo que é aceitável assumir que os valores obtidos poderão chegar próximos dos 4000 N e cumprir os requisitos da FIG quando testados segundo a norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016. Ainda assim os resultados obtidos não foram

positivos já que apenas com a amostra 5 se obteve um resultado inferior a 4000 N, sendo que os restantes resultados são pelo menos 200 N acima do pretendido.

Com a diminuição dos valores de deflexão e o aumento da força de impacto observou-se uma diminuição dos resultados de ressalto em todos os ensaios realizados, com exceção da amostra 4 em que foi testada uma redução da espessura da cortiça. Estes resultados, idealmente, deveriam estar próximos dos obtidos com a amostra de controlo. Ainda assim, o resultado obtido com a amostra 5 encontra-se dentro do permitido pela FIG.

Assim, com a amostra 5 foram obtidos os resultados mais positivos quando comparados com a amostra de controlo, a média dos valores do praticável original e o ponto 5 do praticável original, como se pode verificar na Tabela 5.2. Ainda que os resultados obtidos com a amostra 5 sejam bastante promissores, é muito importante referir que estes resultados surgem com a retirada da mola helicoidal diretamente por baixo do ponto de impacto, o que mostra apenas a influência deste componente nos ensaios de impacto realizados.

Tabela 5.2: Comparação dos resultados da amostra 5 com os resultados de referência

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
Amostra de Controlo	72	285	3721
Ponto 5	80	235	3721
Praticável original	79	283	3561
Amostra 5	60	246	3922

A comparação direta de vários tipos de cortiça, realizada sem o estrado superior, apresentada na Tabela 5.3, mostra que o melhor tipo de cortiça para esta aplicação é a AC199 com 60 mm de espessura, já que apresenta o menor valor de força de impacto e um valor de ressalto bastante próximo do limite imposto pela norma FIG: IV- MAG1-01.01.2016.

Tabela 5.3: Comparação direta dos vários tipos de cortiça

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
Amostra 2	55	236	4376
Amostra 3	53	219	4491
Amostra 7	61	278	4391
Amostra 8	56	241	4217

Os resultados obtidos com a amostra 5 e com a amostra 8 mostram que pode ser plausível a utilização da cortiça em praticáveis de ginástica artística com a alteração da disposição das molas helicoidais e com a utilização da cortiça AC199 com espessura de 60 mm. No entanto, seria ideal a criação de um tipo de cortiça específico para esta aplicação. Pelo que é possível observar na Secção 2.2.2 e nos resultados obtidos, seria importante criar um aglomerado com baixa densidade,

---

composto por grãos pequenos. Além destes fatores seria também importante testar agentes aglomerantes mais flexíveis e aumentar a sua percentagem no aglomerado. Deste modo podem ser considerados algumas soluções para tornar possível a utilização deste material em praticáveis de ginástica artística:

- Diferentes disposições das molas helicoidais;
- Utilização de um tipo de cortiça fabricado propositadamente para esta utilização;
- Alterar as características das molas helicoidais.



# Bibliografia

- [1] “Apparatus Norms IV-Testing procedures” [Online]. Disponível: [http://www.fig-gymnastics.com/publicdir/rules/files/en\\_Apparatus Norms IV Testing procedures.pdf](http://www.fig-gymnastics.com/publicdir/rules/files/en_Apparatus_Norms_IV_Testing_procedures.pdf). Acedido em 15/04/2018.
- [2] S. D. R. Carvalho. “*Otimização de um piso de ginástica artística*”. Dissertação de Mestrado, DEM, UA, Aveiro, 2017.
- [3] A. Lima. “*Aperfeiçoamento de máquina de ensaios de impacto*”. Dissertação de Mestrado, DEM, UA, Aveiro, 2016.
- [4] J. A. R. Julião. “*Caracterização de praticáveis de ginástica artística*”. Dissertação de Mestrado, DEM, UA, Aveiro, 2016.
- [5] F. A. E. Pereira. “*Construção e teste de praticável de ginástica artística e rítmica*”. Dissertação de Mestrado, DEM, UA, Aveiro, 2016.
- [6] F. A. O. Fernandes, R. T. Jardim, A. B. Pereira, and R. J. Alves de Sousa. “Comparing the mechanical performance of synthetic and natural cellular materials”. *Materials & Design*, 82:335–341, 2015.
- [7] P. M. T. Santos. “*Estratégias para o melhoramento das propriedades mecânicas de compósitos baseados em cortiça aglomerada*”. Dissertação de Mestrado, DEM, UA, Aveiro, 2016.
- [8] P. T. Santos, S. Pinto, P. A. A. P. Marques, A. B. Pereira, and R. J. Alves De Sousa. Agglomerated cork : A way to tailor its mechanical properties. *Composite Structures*, 178:277–287, 2017.
- [9] L.J. Gibson and M.F. Ashby. *Cellular Solids: Structure and Properties*. Cambridge University Press, Cambridge MA, 1997.
- [10] “Associação Portuguesa da Cortiça” [Online]. Disponível: <http://www.apcor.pt/media-center/estatisticas/>. Acedido em 14/11/2018.
- [11] A. F. Pais. “*Evolução do uso da cortiça em desenvolvimento de produtos*”. Dissertação de Mestrado, DEM, UA, Aveiro, 2016.

- [12] “NL10 Material Data Sheet” [Online]. Disponível:  
<https://amorincorkcomposites.com/media/4201/mds-nl10.pdf>. Acedido  
em 30/05/2018.

# Capítulo 6

## Anexo - Resultados dos Ensaio

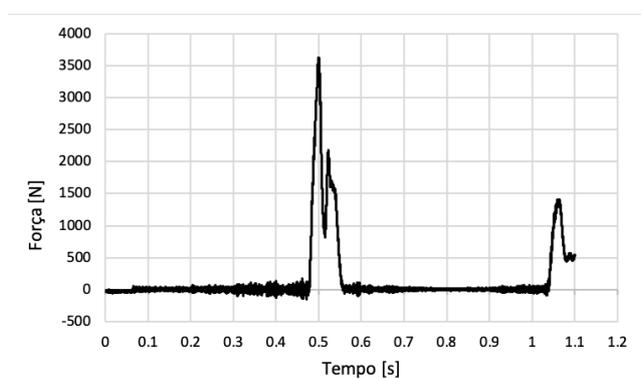


Figura 6.1: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra de controlo

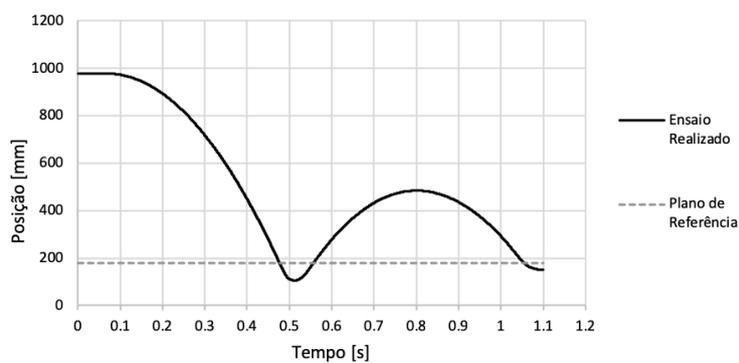


Figura 6.2: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra de controlo

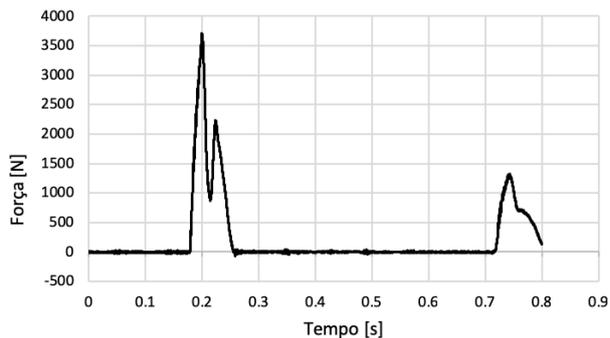


Figura 6.3: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra de controlo

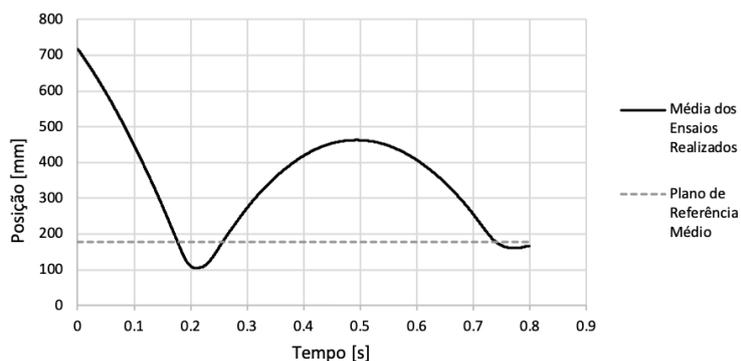


Figura 6.4: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra de controlo

Tabela 6.1: Resultados obtidos utilizando a amostra de controlo

	<b>Deflexão [mm]</b>	<b>Ressalto [mm]</b>	<b>Força [N]</b>
1	72	284	3752
2	73	287	3705
3	73	286	3786
4	72	284	3659
5	73	286	3728
6	72	283	3694
<b>Média</b>	<b>72</b>	<b>285</b>	<b>3721</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,24</b>	<b>1,48</b>	<b>40,95</b>

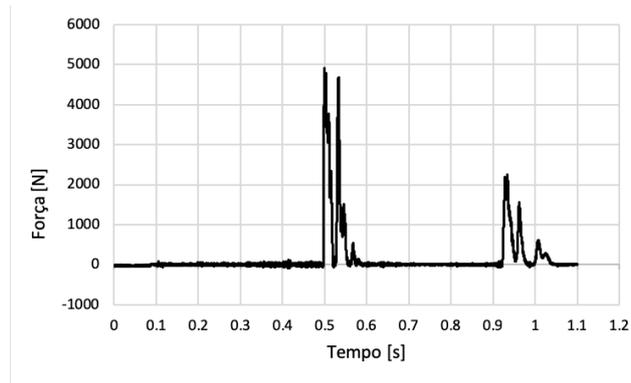


Figura 6.5: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 1

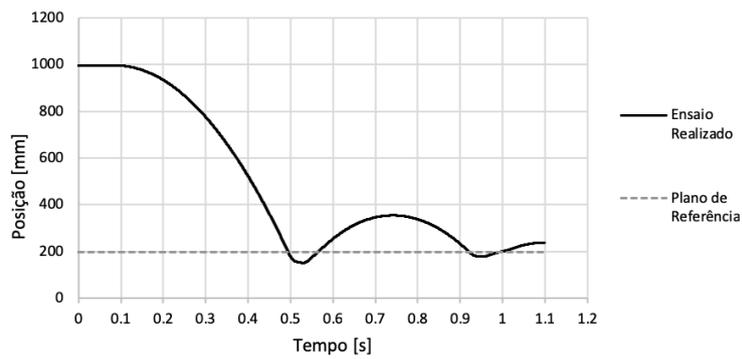


Figura 6.6: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 1

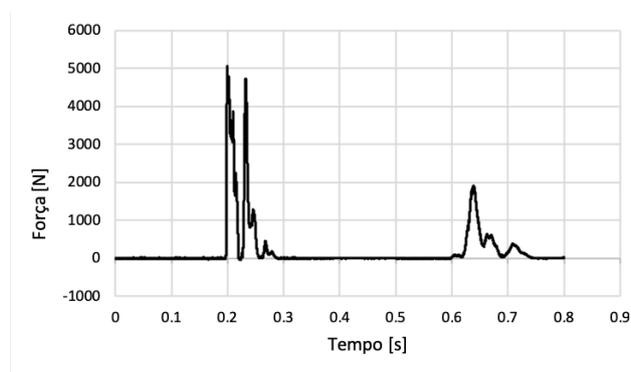


Figura 6.7: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 1

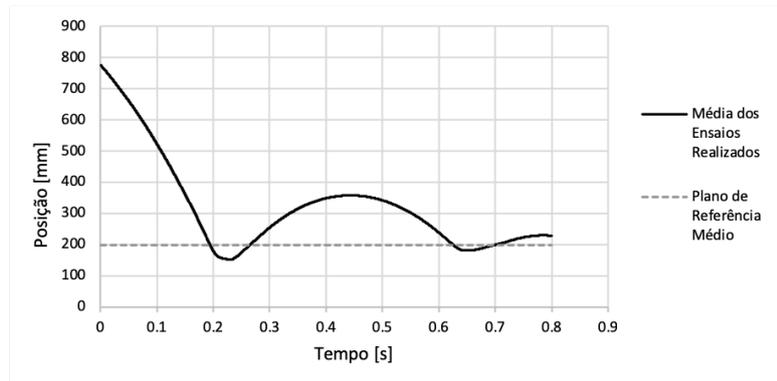


Figura 6.8: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 1

Tabela 6.2: Resultados obtidos utilizando a amostra 1

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	46	146	4952
2	46	156	5119
3	46	172	5010
4	46	165	5043
5	46	158	4919
6	46	167	5071
7	46	159	5144
8	46	157	5229
9	46	162	5185
10	46	165	5029
<b>Média</b>	<b>46</b>	<b>161</b>	<b>5070</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,28</b>	<b>6,89</b>	<b>94,40</b>

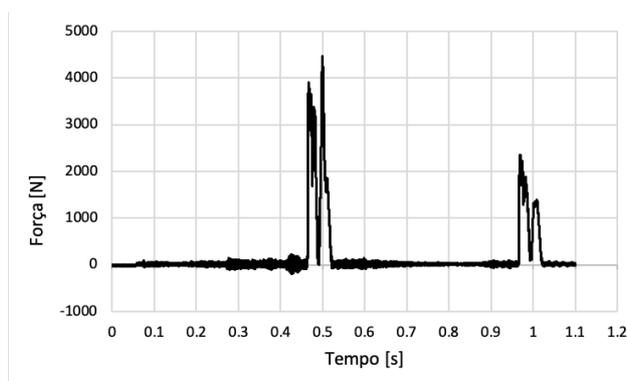


Figura 6.9: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 2

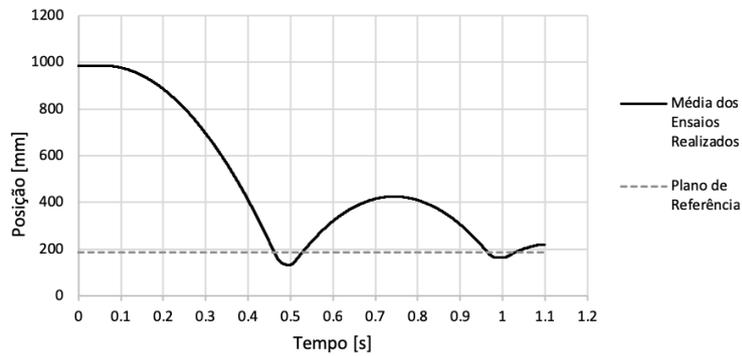


Figura 6.10: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 2

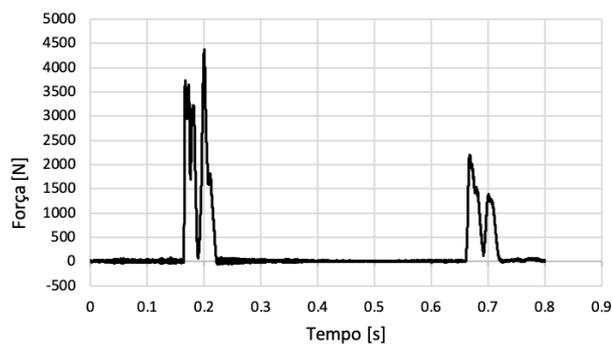


Figura 6.11: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 2

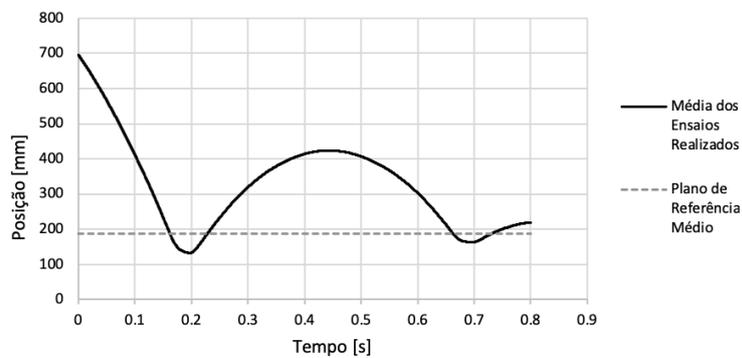


Figura 6.12: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 2

Tabela 6.3: Resultados obtidos utilizando a amostra 2

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	55	235	4399
2	56	236	4329
3	56	235	4271
4	55	236	4425
5	55	238	4456
<b>Média</b>	<b>55</b>	<b>236</b>	<b>4376</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,07</b>	<b>1,25</b>	<b>67,18</b>

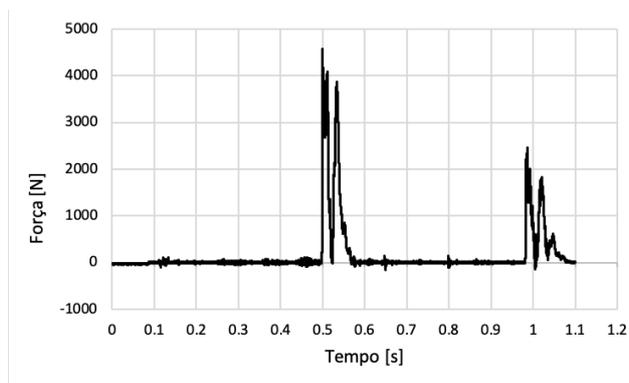


Figura 6.13: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 3

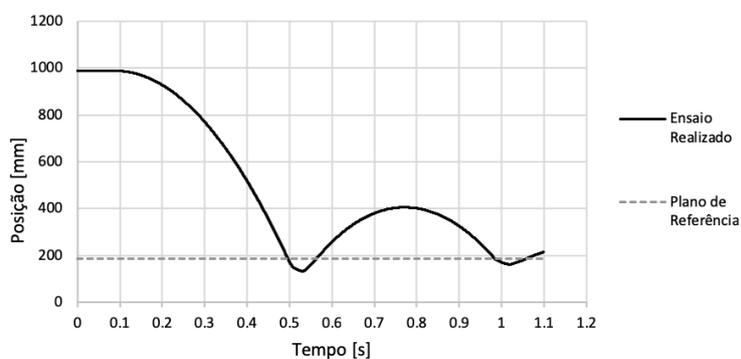


Figura 6.14: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 3

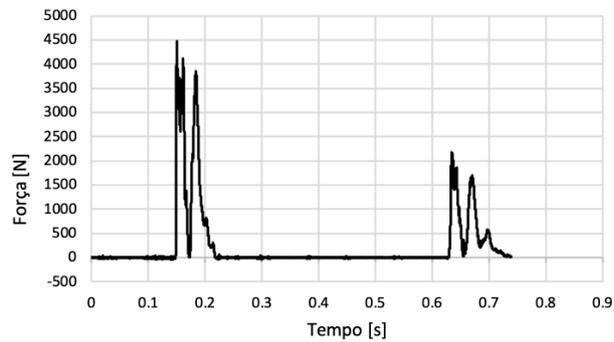


Figura 6.15: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 3

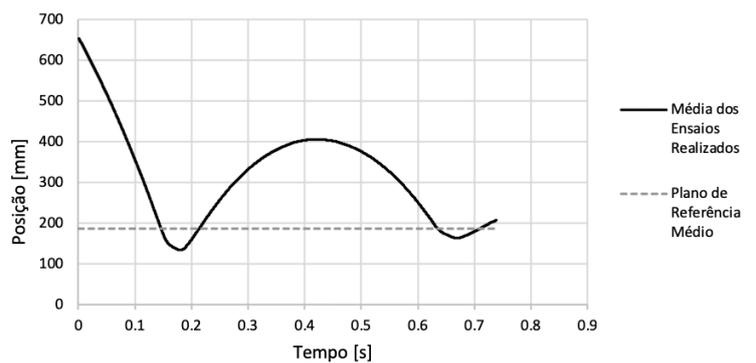


Figura 6.16: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 3

Tabela 6.4: Resultados obtidos utilizando a amostra 3

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	53	218	4472
2	53	221	4325
3	53	218	4712
4	53	219	4583
5	53	220	4362
<b>Média</b>	<b>53</b>	<b>219</b>	<b>4491</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,04</b>	<b>1,36</b>	<b>142,73</b>

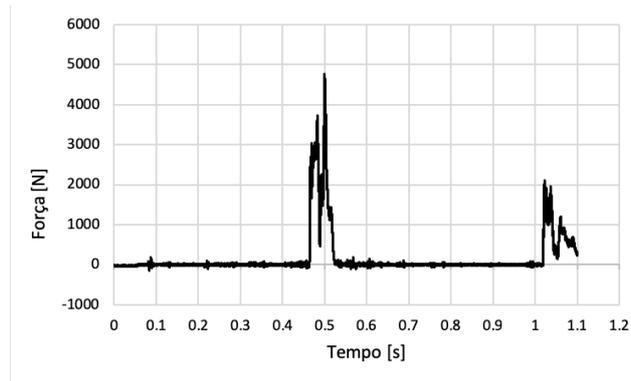


Figura 6.17: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 4

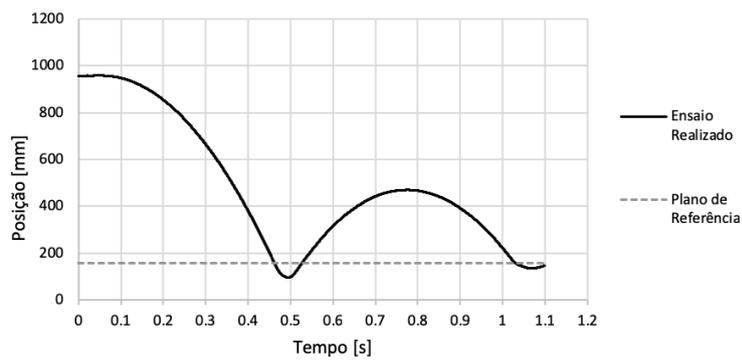


Figura 6.18: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 4

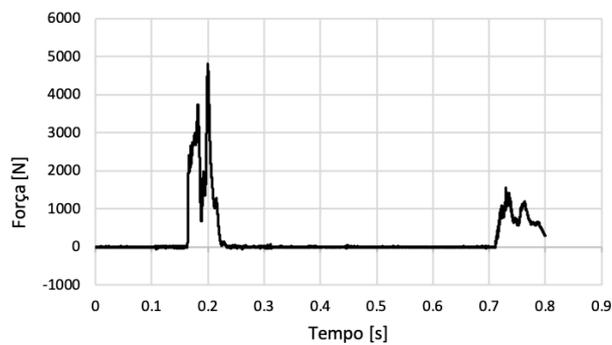


Figura 6.19: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 4

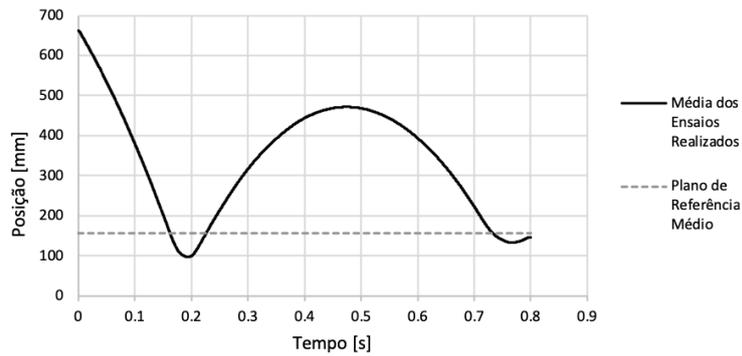


Figura 6.20: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 4

Tabela 6.5: Resultados obtidos utilizando a amostra 4

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	60	324	4826
2	60	324	4671
3	60	302	4926
4	61	308	4872
5	61	313	4758
<b>Média</b>	<b>60</b>	<b>314</b>	<b>4811</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,32</b>	<b>8,71</b>	<b>88,97</b>

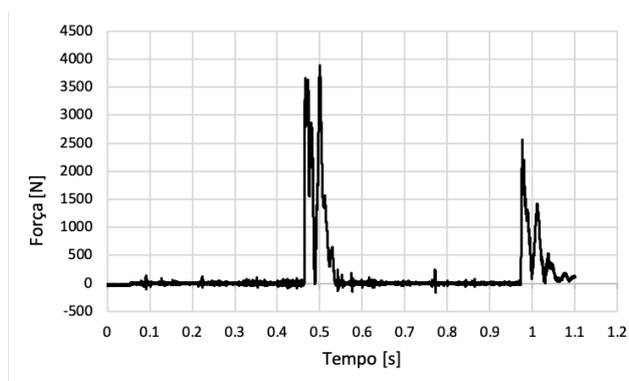


Figura 6.21: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 5

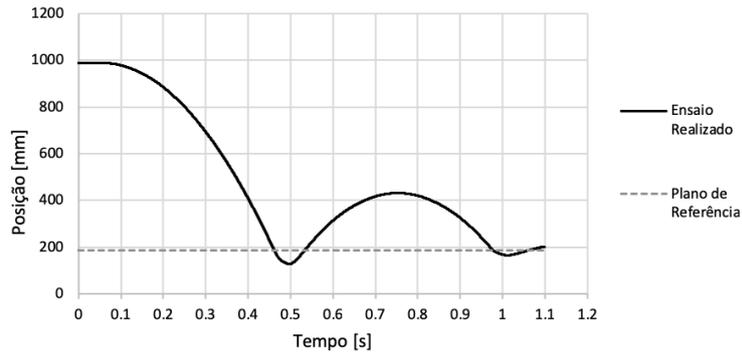


Figura 6.22: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 5

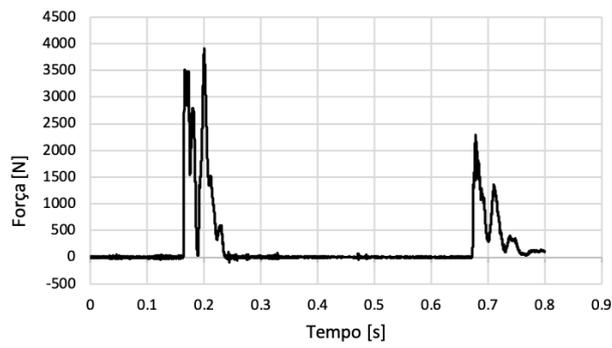


Figura 6.23: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 5

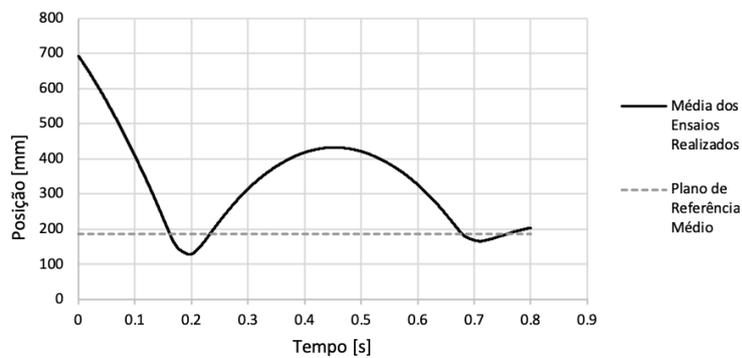


Figura 6.24: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 5

Tabela 6.6: Resultados obtidos utilizando a amostra 5

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	60	241	3946
2	60	243	3884
3	60	244	3896
4	59	250	3959
5	60	254	3927
<b>Média</b>	<b>60</b>	<b>246</b>	<b>3922</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,27</b>	<b>4,69</b>	<b>28,60</b>

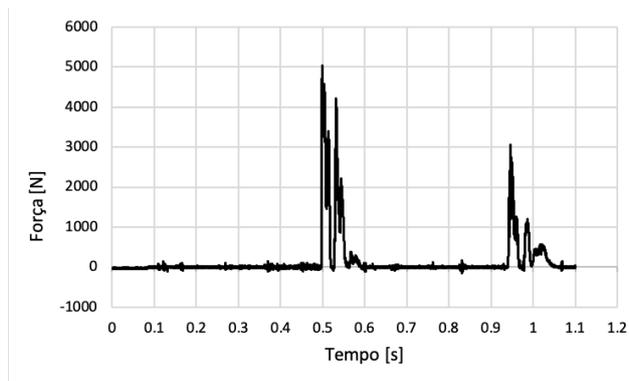


Figura 6.25: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 6

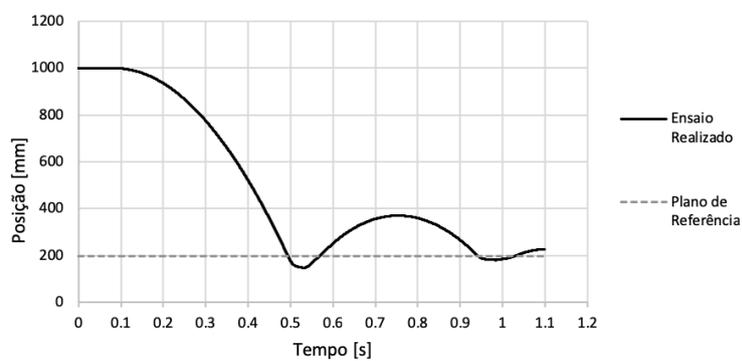


Figura 6.26: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 6

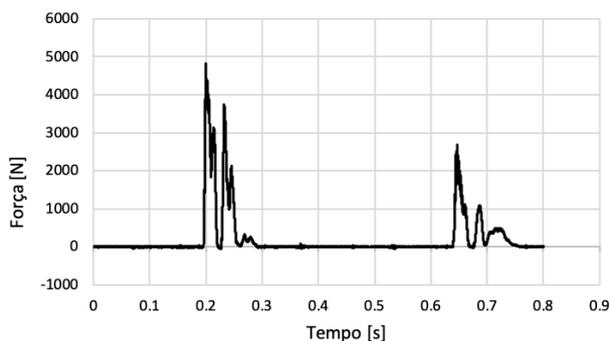


Figura 6.27: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 6

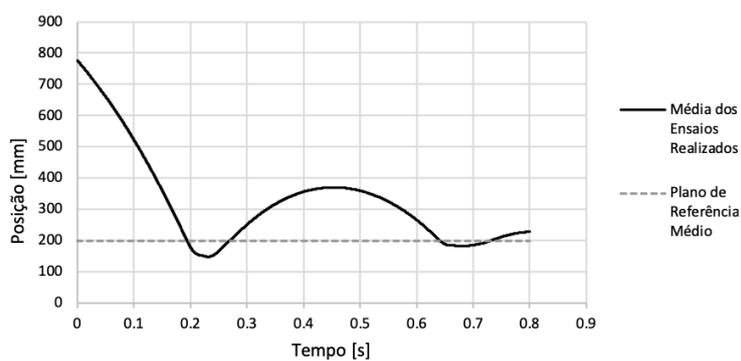


Figura 6.28: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 6

Tabela 6.7: Resultados obtidos utilizando a amostra 6

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	50	173	5038
2	50	171	4711
3	50	172	4788
4	50	172	4970
5	50	173	4752
<b>Média</b>	<b>50</b>	<b>172</b>	<b>4852</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,15</b>	<b>0,56</b>	<b>128,45</b>

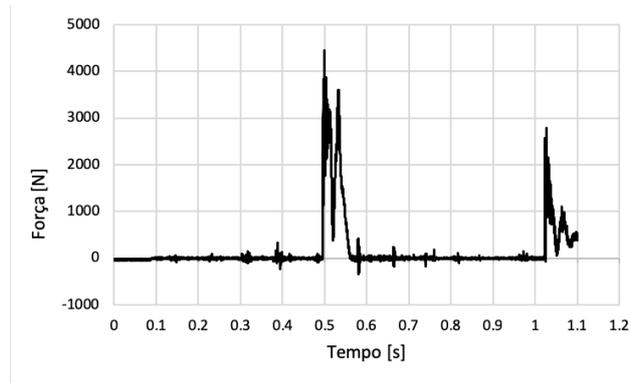


Figura 6.29: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 7

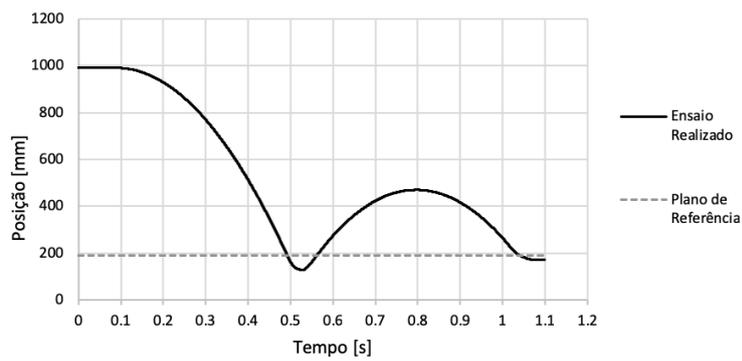


Figura 6.30: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 7

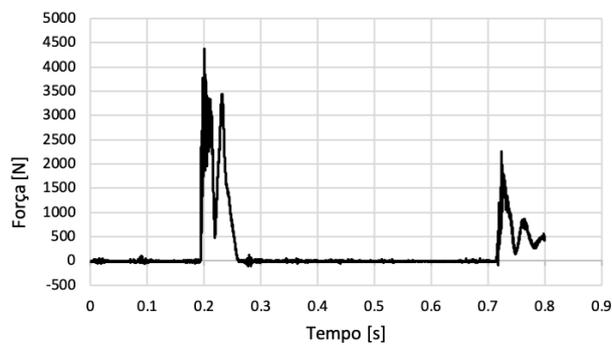


Figura 6.31: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 7

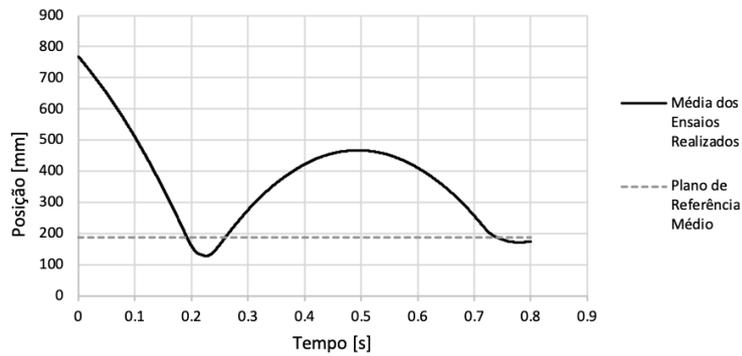


Figura 6.32: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 7

Tabela 6.8: Resultados obtidos utilizando a amostra 7

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	60	272	4207
2	61	278	4280
3	61	279	4490
4	61	281	4451
5	61	279	4525
<b>Média</b>	<b>61</b>	<b>278</b>	<b>4391</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,28</b>	<b>3,07</b>	<b>124,53</b>

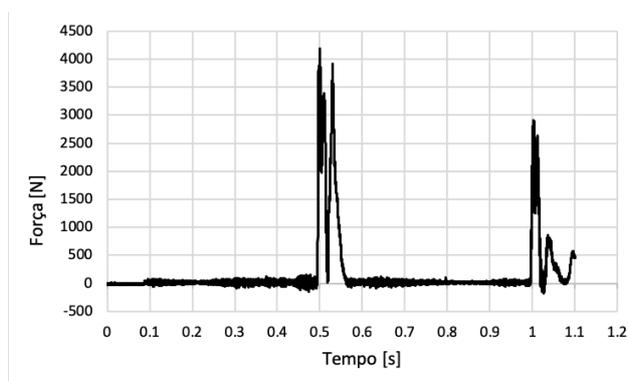


Figura 6.33: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 8

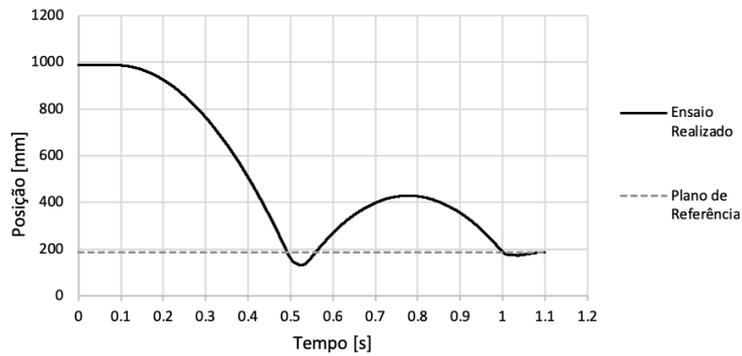


Figura 6.34: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 8

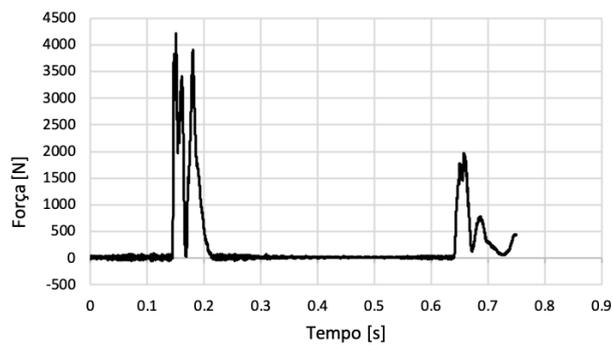


Figura 6.35: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 8

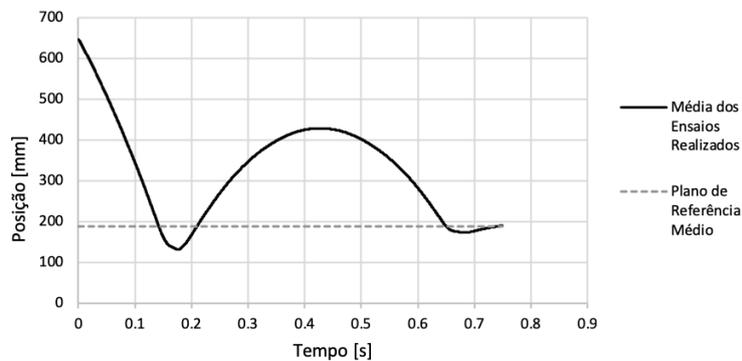


Figura 6.36: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 8

Tabela 6.9: Resultados obtidos utilizando a amostra 8

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	56	237	4179
2	56	239	4263
3	56	239	4245
4	56	242	4190
5	56	247	4207
<b>Média</b>	<b>56</b>	<b>241</b>	<b>4217</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,12</b>	<b>3,34</b>	<b>32,16</b>

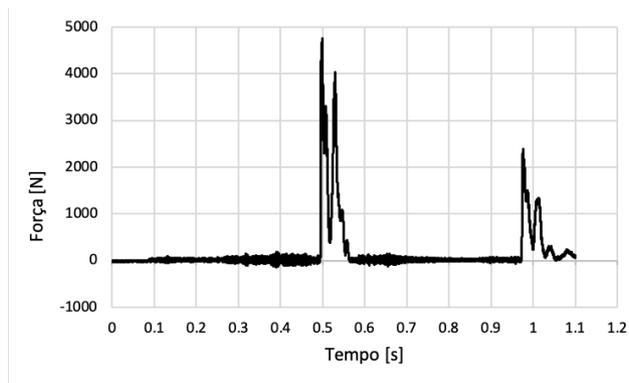


Figura 6.37: Gráfico força-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 9

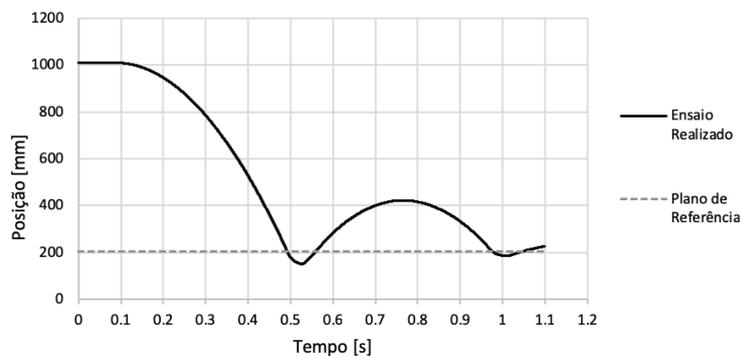


Figura 6.38: Gráfico posição-tempo num dos ensaios realizados com a amostra 9

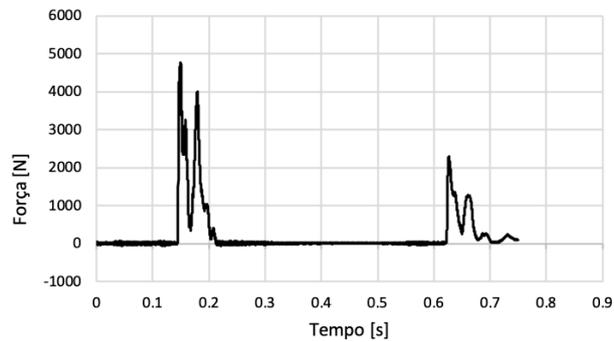


Figura 6.39: Gráfico médio força-tempo nos ensaios realizados com a amostra 9

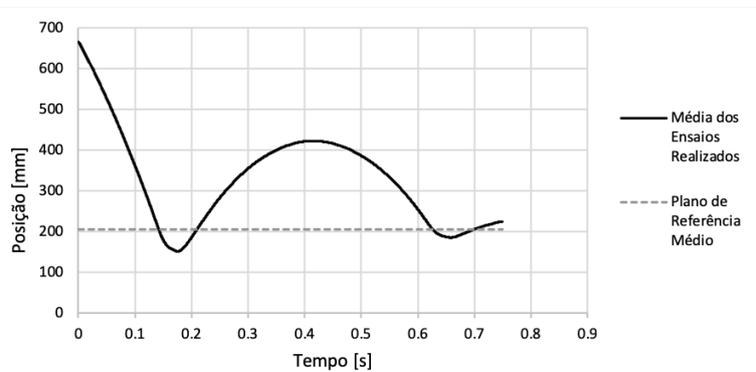


Figura 6.40: Gráfico médio posição-tempo nos ensaios realizados com a amostra 9

Tabela 6.10: Resultados obtidos utilizando a amostra 9

	Deflexão [mm]	Ressalto [mm]	Força [N]
1	53	218	4740
2	53	217	4753
3	53	219	4778
4	53	217	4778
5	53	217	4808
<b>Média</b>	<b>53</b>	<b>218</b>	<b>4771</b>
<b>Desvio-Padrão</b>	<b>0,21</b>	<b>0,46</b>	<b>23,46</b>