



Universidade de
Aveiro
2016

Departamento de Engenharia Mecânica

Arménio Marques Aperfeiçoamento de máquina de ensaios de impacto
Lima



Universidade de
Aveiro
2016

Departamento de Engenharia Mecânica

Arménio Marques Aperfeiçoamento de máquina de ensaios de impacto
Lima

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Dr. António Manuel de Bastos Pereira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha mãe Maria Marques e à Ana Rosa pelo incansável apoio prestrado ao longo desta dissertação.

o júri

Presidente

Prof. Doutor Rui António da Silva Moreira

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor Fábio Jorge Pereira Simões

Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Leiria da Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Orientador

Prof. Doutor António Manuel de Bastos Pereira

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel de Bastos Pereira, pela disponibilidade e pelo incansável apoio prestado.

Gostaria de agradecer também ao Engenheiro Ricardo Nuno Beja pelo auxílio na parte prática desta dissertação. Ao Engenheiro António José da Fonseca Festas por todo o apoio técnico fornecido na oficina.

Agradeço à minha família e à Ana Rosa pela ajuda e motivação oferecida.

palavras-chave

Máquina de ensaios de impacto, Ensaio por queda livre, Praticáveis de ginástica.

resumo

A presente dissertação teve como objetivo a realização de ensaios de impacto por queda livre, em praticáveis de ginástica artística e um posterior aperfeiçoamento da máquina de ensaios. Inicialmente foi feita uma breve revisão bibliográfica sobre máquinas de ensaios de impacto, os métodos utilizados nestes ensaios e sobre as normas que regem a validação de pisos de ginástica artística e rítmica.

Os praticáveis de ginástica artística revelaram uma deflexão superior a permitida pela norma FIG MAG 1 de 2016. Depois de realizados e analisados os ensaios, foram adicionados à máquina de ensaios de impacto um fim de curso para auxiliar no posicionamento do impactor, alterou-se o sistema de aquisição e tratamento de dados e adicionou-se um sistema de impacto para praticáveis de ginástica rítmica conforme as diretivas da norma FIG RG 1.

Com a alteração na aquisição e tratamento dos dados provenientes da máquina de ensaios de impacto foi possível confrontar os valores da carga provenientes de uma célula de carga, com aqueles obtidos pelo tratamento analítico dos dados do deslocamento. Os resultados confirmam que é possível omitir a célula de carga mediante a utilização da 2ª Lei de Newton.

keywords

Impact test machine, Free fall test, Gymnastic floor.

abstract

The present dissertation objective is the accomplishment of impact tests by free fall, in an artistic gymnastics floor and a later improvement of test machine. First of all, it was made a brief research about impact test machines, the methods used in these tests and on the standards that rule the validation of artistic and rhythmic gymnastics floors.

The attendants of artistic gymnastic revealed a deflexion superior to the one allowed by the FIG MAG 1 norm. After the tests were carried out and analyzed, an end stop mechanism was added to the impact test machine to assist the positioning of the impactor, the data acquisition and the system treatment are changed and an impact system for rhythmic gymnastics floor was added according to the guidelines of the FIG RG 1 standard.

With the change in the acquisition and treatment of the data from the impact test machine it was possible to compare the load values from a load cell with which were obtained by the analytical treatment of the displacement data. The results confirm that it is possible to omit the load cell using Newton's 2nd Law.

Índice

Índice	i
Índice de Tabelas.....	v
Índice de Figuras	vii
Lista de símbolos e abreviaturas.....	xi
Capítulo 1	1
1. Enquadramento teórico	3
1.1 Introdução.....	3
1.2 Objetivo e motivação.....	4
1.3 Norma FIG-MAG 1 (equivalente para FIG-WAG 4)	4
1.4 Norma FIG-RG 1.....	6
1.5 Máquinas de ensaios de impacto	8
Capítulo 2	11
2. Material Utilizado	13
2.1 Máquina de ensaios de impacto (MEI).....	13
2.1.1 Viga de suporte do impactor	14
2.1.2 Guincho de elevação do impactor	16
2.1.3 Impactor	17
2.1.4 Mecanismo de libertação do impactor.....	20
2.1.5 Sistema de aquisição de dados	22
2.2 Praticáveis de Ginástica artística	28
2.3 Adições e alterações da máquina de ensaios de impacto	32
2.3.1 Sistema de paragem automática do guincho	32
2.3.2 Sistema de Impactor para ensaios em praticáveis de ginástica rítmica	38
2.3.3 Alteração no sistema de aquisição de dados do deslocamento e força.....	38
Capítulo 3	43

3.	Procedimento Experimental	45
3.1	Calibração do <i>encoder</i> de fio.....	45
3.2	Calibração da célula de carga.....	47
3.3	Preparação das amostras a testar	49
3.4	Ensaio de impacto nos praticáveis de ginástica artística	49
3.5	Modelo matemático para cálculo da força	50
Capítulo 4		55
4.	Resultados e discussão	57
4.1	Resultados para o piso com colchão de quatro camadas.....	57
4.2	Resultados para piso com colchão de cinco camadas	60
4.3	Resultados do modelo matemático.....	60
Capítulo 5		69
5.	Conclusões e trabalhos futuros.....	71
6.	Referências.....	72
Anexo A		75
Desenhos de definição das peças fabricadas para o sistema de paragem automática do guincho.		75
Anexo B.....		81
Esquema do sistema elétrico		81
Ficha técnica do fototransistor.....		83
Ficha técnica do módulo laser		84
Ficha técnica do limitador de tensão		85
Ficha técnica do transistor		86
Ficha técnica do diodo.....		88
Ficha técnica do relé.....		89
Anexo C.....		91

Desenhos de definição para o sistema de impactor para ensaios em pisos de ginástica rítmica.	91
Anexo D	101
Manual de funcionamento do <i>software</i> NI MAX para a MEI.....	101
Anexo E.....	113
Desenhos de definição para configuração do sistema de impactor com peso maior na parte inferior da célula de carga.	113
Anexo F.....	119
Macro de conversão de unidades para aplicar nos valores retirados do <i>software</i> NI MAX....	119
Anexo G	120
Manual do filtro Butterworth.....	120
Anexo H	122
Gráficos de deslocamento e força para praticável com colchão de material polimérico de quatro camadas.	122

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 – Valores de deflexão, ressalto e força máxima para praticáveis de ginástica artística [5].	6
Tabela 1.2 – Valores de deflexão, ressalto e força máxima padrão para praticáveis de ginástica rítmica [6].	7
Tabela 2.1 – Características do guincho PBF 100 [13].	17
Tabela 2.2 – Características do <i>encoder</i> de fio RLX50A.	22
Tabela 2.3 – Características da Escort EPS-3250.	24
Tabela 2.4 – Características do Spider 8.	25
Tabela 2.5 – Características da carta NI9237.	27
Tabela 2.6 – Características do chassis CompactDAQ.	27
Tabela 2.7 – Características principais de alguns componentes elétricos.	36
Tabela 2.8 – Média e desvio padrão do sistema de paragem automática do guincho.	38
Tabela 2.9 – Principais características da carta NI 9215.	40
Tabela 3.1 – Massa das duas configurações.	51
Tabela 4.1 – Resultados obtidos para o piso com colchão de espuma polimérica de quatro camadas.	59
Tabela 4.2 – Resultados dos 4 pontos do piso de ginástica artística com colchão de 5 camadas.	60
Tabela 4.3 – Média de força medida com a célula de carga das duas configurações.	61
Tabela 4.4 – Média de velocidade máxima, aceleração em repouso e aceleração em queda para os 20 ensaios.	65
Tabela 4.5 – Média de força das duas configurações através do modelo matemático com filtro Butterworth com <i>cut-off</i> de 80 Hz.	67
Tabela 4.6 – Erro relativo à massa que está por baixo da célula de carga	68
Tabela 4.7 – Relação do peso colocado por baixo da célula com o peso total do impactor.	68

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Localizações de impacto para pisos de ginástica artística [5].....	5
Figura 1.2 – Localizações de impacto para pisos de ginástica rítmica [6].	7
Figura 1.3 – Máquinas de ensaios de impacto por pêndulo [9].....	8
Figura 1.4 – Ilustração exemplificativa de um ensaio de Charpy ou Izod [7].....	9
Figura 1.5 – Máquina de ensaios de impacto por queda livre [11].	9
Figura 1.6 – Ilustração de máquina de ensaios de impacto por queda livre e dos seus diversos componentes [12].	10
Figura 2.1 – Máquina de ensaios de impacto presente no DEM.	14
Figura 2.2 – Viga de suporte do impactor: (a) pilar do DEM; (b) viga de suporte do impactor; (c) cubos de alojamento dos rolamentos lineares; (d) topo soldado à viga (b); (e) varão corredeira do impactor; (f) suporte do encoder. Imagem adaptada de [7].....	15
Figura 2.3 – Suporte do <i>encoder</i>	16
Figura 2.4 – Guincho e respetiva viga de suporte: (A) guincho; (B) cabo de aço; (C) fio elétrico de alimentação do guincho; (D) viga de suporte do guincho; (E) coluna mestra do DEM.	16
Figura 2.5 – Guincho PBF 100 [13].	17
Figura 2.6 – Suporte intermédio do impactor: (A) varão de aço; (B) caixas de rolamentos; (C) viga de suporte do impactor.	18
Figura 2.7 – Parte superior do Impactor: (A) chapa de auxílio à aquisição de dados; (B) sistema de amarração; (C) parafuso de aperto do fio do <i>encoder</i>	19
Figura 2.8 – Parte inferior do impactor: (A) disco inferior à célula de carga; (B) célula de carga; (C) peso superior à célula de carga; (D) cilindro de fixação; (E) varão.	20
Figura 2.9 – Sistema de libertação do impactor: (A) patilha de atuação do sistema; (B) cabo de aço; (C) trinco da fechadura.	21
Figura 2.10 – Acoplamento do gancho do impactor à fechadura.	21
Figura 2.11 – <i>Encoder</i> de fio RLX50A.	22
Figura 2.12 – Montagem do sistema de medição de deslocamento: (A) <i>encoder</i> de fio RLX50A; (B) suporte do <i>encoder</i> ; (C) fio do <i>encoder</i> ; (D) ligação do fio do <i>encoder</i> a placa de apoio à aquisição de dados.	23
Figura 2.13 – Fonte de alimentação Escort EPS-3250.	24
Figura 2.14 – Spider 8.	24
Figura 2.15 – Módulo de aquisição de dados do Catman 4.5.....	25
Figura 2.16 – Conector RJ50.....	26

Figura 2.17 – Carta NI9237.....	26
Figura 2.18 – Chassis CompactDAQ.	27
Figura 2.19 – Aplicação LabVIEW de leitura de valores de força.....	28
Figura 2.20 – Estrutura da amostra de piso de ginástica artística: (A) molas helicoidais; (B) placas de madeira inferiores; (C) placas de madeira superiores; (D) colchões de espuma polimérica; (E) alcatifa.	29
Figura 2.21 – Mola helicoidal.	29
Figura 2.22 – Placa de madeira inferior com molas acopladas (vista de baixo).	30
Figura 2.23 – Placa de madeira inferior com bandas de velcro (vista de cima).	30
Figura 2.24 – Colchões de material polimérico: (a) colchão de quatro camadas; (b) colchão de cinco camadas.....	31
Figura 2.25 – Sequência de montagem da amostra do piso de ginástica artística.	31
Figura 2.26 – Estrutura mecânica do sistema de paragem do guincho: (A) perfil Vertical; (B) perfil horizontal; (C) um dos perfis paralelos; (D) peça maquinada de suporte do recetor; (E) peça maquinada de suporte do emissor.	33
Figura 2.27 – Placa de ensaios com o sistema elétrico montado.....	35
Figura 2.28 – Caixa com placa de circuitos impressos.	35
Figura 2.29 – Chapa quinada apertada no cilindro de fixação.	37
Figura 2.30 – Carta NI 9215.....	39
Figura 2.31 – Chassis CompactDAQ com cartas NI 9237 e NI 9215 acopladas.	40
Figura 2.32 – Ambiente de aquisição de dados do NI MAX.	41
Figura 3.1 – Exemplo de calibração do <i>encoder</i>	46
Figura 3.2 – Calibração da célula de 5 kN na Shimadzu AGS-X.	47
Figura 3.3 – Esquema teórico ideal para uso de célula de carga.	51
Figura 3.4 – Ilustração do sistema real de ensaios de impacto: (1) Peso superior à célula de carga; (2) Célula de carga; (3) Disco inferior à célula de carga; (4) amostra de piso de ginástica artística deformado durante o impacto.	52
Figura B.0.1 – Esquema elétrico: (C1, C2, C3, C4) - condensadores; (TR1) – Transformador; (B1) Ponte retificadora; (U1, U2) – Limitadores de tensão; (MOD1) – Módulo laser verde; (Q1, Q2) – Fototransístor e transístor; (D1) – Díodo; (R1) - Resistência; (K1) – Relé; (M1) – Motor monofásico.	82
Figura D.0.1 – Criação de uma nova tarefa no <i>software</i> NI MAX.....	101
Figura D.0.2 – Menu de seleção do tipo de tarefa a criar.....	102
Figura D.0.3 – Escolha de um tipo de sinal a adquirir.	103

Figura D.0.4 – Canal da carta NI 9215 a ser utilizado.	103
Figura D.0.5 – Colocar nome na tarefa do NI MAX.	104
Figura D.0.6 – Definições de leitura do <i>encoder</i>	105
Figura D.0.7 – Aceder ao menu de calibração do <i>encoder</i>	105
Figura D.0.8 – Nome da calibração a efetuar.	106
Figura D.0.9 – Número de amostras e taxa de aquisição para a calibração do <i>encoder</i>	106
Figura D.0.10 – Calibração do encoder no Software NI MAX.	107
Figura D.0.11 – Selecionar um novo tipo de aquisição de sinal para obtenção dos valores da célula de carga.	108
Figura D.0.12 – Definições para a célula de carga no NI MAX.	109
Figura D.0.13 – Escala de calibração da célula de carga.	109
Figura D.0.14 – Início da obtenção de dados da MEI.	110
Figura D.0.15 – Obtenção do gráfico de deslocamento e força no NI MAX.	111
Figura D.0.16 – Gravar ficheiro de dados em formato do Microsoft Office Excel.	112

Lista de símbolos e abreviaturas

FIG – Federação Internacional de Ginástica

FGP – Federação de ginástica Portuguesa

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

MEI – Máquina de Ensaios de Impacto

USB – Universal Serial Bus

PMB – Peso maior em baixo

PMC – Peso maior em cima

MFVM – Média da força dos vinte ensaios calculada pelo modelo matemático.

MFC – Média da força obtida pela célula para cada configuração de impactor.

® – Marca registada

Lda – Limitada

Capítulo 1

1. Enquadramento teórico

1.1 Introdução

Atualmente, a preocupação com o bem-estar a nível físico tem aumentado o número de apoiantes e praticantes do desporto. Tendo em conta a elevada importância da prática desportiva e o acentuado aumento de competições num quadro desportivo altamente especializado, é necessária uma maior preocupação com a preparação dos atletas e melhoramento das condições para a prática desta atividade [1]. Existem vários tipos de atividades que podemos considerar como desporto, sendo uma delas a ginástica.

A ginástica moderna surgiu no século XIX, tendo como principal causa de impulsionamento o acordo assinado pelos Srs. Cupérus, Lobet e Vandehoren em representação das federações suíças de ginástica; Sansboeuf, que representava a sociedade ginástica francesa; Kok, da união de ginástica holandesa, surgiu a Federação Europeia de Bureau, ou também conhecida por Federação Europeia de Ginástica. Mais tarde, em 17 de abril de 1921, através da junção de mais países na federação, passou a ser designada por Federação Internacional de Ginástica (FIG) [2]. Em Portugal a 20 de novembro de 1950 surgiu a Federação de Ginástica de Portugal (FGP) representada por José António Marques [3].

A ginástica de competição, tal como todos os outros desportos, requer qualidade nos equipamentos e infraestruturas utilizadas para a sua prática, infraestruturas essas que têm de beneficiar igualmente todos os desportistas e para que isto assim seja, impõem-se às empresas que querem fabricar equipamentos, normas a que os equipamentos têm de obedecer. A FGP usa as mesmas normas nos equipamentos usados em competição nacionais, de modo a garantir dessa forma o mesmo rigor imposto pela FIG nos seus equipamentos e infraestruturas [4].

No decorrer desta dissertação foi proposto pela empresa Conbego Unipessoal ao DEM um estudo que consistia na avaliação de pisos para a prática de ginástica artística (masculino e feminino) e rítmica, segundo as normas impostas pela FIG. Esta avaliação irá levar a que esta empresa seja capaz de produzir estes equipamentos desportivos de acordo com as normas FIG-MAG 1 [5], FIG-WAG 4 e FIG-RG 1[6].

1.2 Objetivo e motivação

O objetivo principal desta Dissertação consiste na otimização da máquina de ensaio de impacto (MEI), presente no departamento de engenharia mecânica da universidade de Aveiro, para realizar testes de impacto em praticáveis de ginástica artística e rítmica. Estes testes são normalizados pela FIG, e apenas os pisos que obedeçam as normas são passíveis de homologação.

A empresa Conbego Unipessoal, Lda pretende testar praticáveis de ginástica artística e rítmica, ao abrigo de normas recentemente alteradas, FIG-MAG1:2016 e FIG-RG1:2016, respetivamente. De facto, os mesmos estrados já haviam sido alvo de ensaios em estudos anteriores [7], [8], entretanto desatualizados devido às novas normas. Nestes trabalhos iniciais já se tinha concluído que a norma é muito restritiva, pelo menos em termos de valores de deflexão tendo, na altura, sido obtido o cumprimento por uma margem de 3 mm. Importava assim verificar e criar novos sistemas que garantissem com bastante rigor (obter um erro total inferior aos ± 3 mm antes indicados) as medições efetuadas nos ensaios de impacto.

Para que o objetivo fosse cumprido foi necessário inicialmente realizar ensaios na máquina existente, para posteriormente serem analisados, e desta forma verificar um conjunto de alterações e adições à MEI.

1.3 Norma FIG-MAG 1 (equivalente para FIG-WAG 4) – Ginástica artística

Na norma FIG-MAG 1 [5], encontram-se as diretivas relativas aos pisos de ginástica artística masculina que são equivalentes para a ginástica artística feminina (FIG-WAG 4). Estas normas sofreram atualizações durante o ano de 2016. Segundo estas terão de ser realizados ensaios de impacto, que irão seguir os passos nela descritos.

O impactor a utilizar terá de ter uma massa total de 20 ± 0.2 kg e deve ter uma superfície de impacto plana de 100 ± 5 mm de diâmetro. As extremidades do impactor devem ter um chanfro para precaver eventuais danos causados na superfície do piso.

No momento do impacto com a superfície a testar o impactor tem de possuir uma velocidade de $3.96 \pm 3\%$ m/s, o que corresponde a uma queda de 800 mm. Entre cada ensaio é necessário aguardar um período de tempo nunca inferior a 120 segundos.

A amostra do piso a testar deverá ter um tamanho horizontal mínimo de 3000×2000 mm. Os pontos do piso onde os impactos devem ser realizados também é estipulado pela norma [5] e encontram-se representados na Figura 1.1.

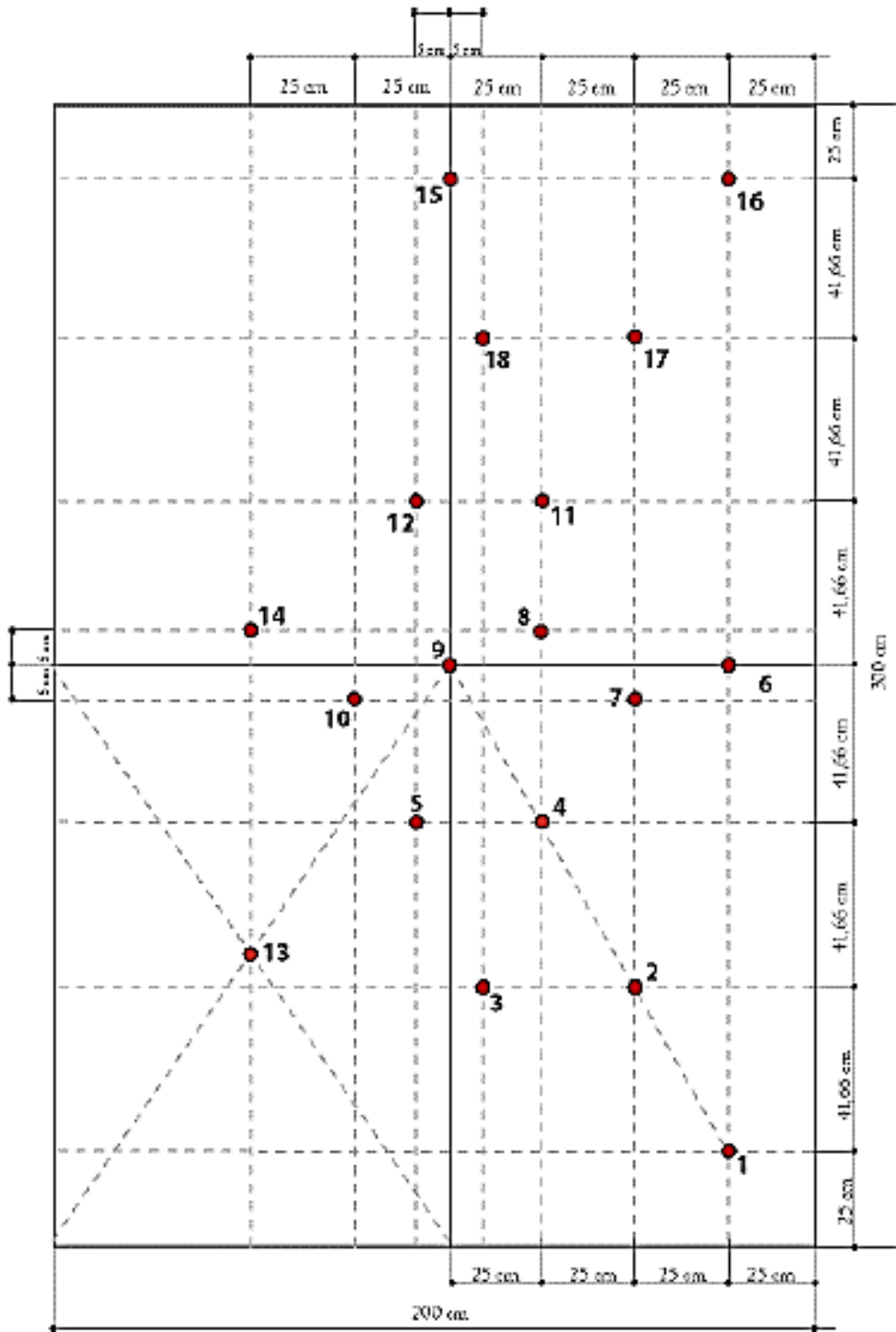


Figura 1.1 – Localizações de impacto para pisos de ginástica artística [5].

Cada ponto receberá dez impactos, perfazendo assim um total de cento e oitenta ensaios. Em termos de aquisição de dados é ditado pela norma [5] que a taxa mínima para aquisição deve ser de 5000 Hz, e deve ser aplicado um filtro Butterworth, com um *cut-off* de 1000 Hz (ver mais detalhes no Anexo G).

As variáveis a ter em conta são o plano de referência, deflexão, ressalto e força de impacto máxima que estão definidos pela norma [5] como sendo:

- Plano de referência é a superfície do piso de ginástica, cota a partir da qual serão medidos o afundamento e o ressalto;
- Deflexão é a distância máxima percorrida pelo impactor abaixo do plano de referência;
- Ressalto é a altura máxima atingida pelo impactor após o impacto, medida acima do plano de referência;
- Força de impacto máxima é atingida no momento em que o impactor colide com o praticável de ginástica.

O procedimento a seguir para efetuar os cálculos finais é ditado pela norma [5], que indica que dos dez ensaios realizados em cada ponto, devem ser utilizados os últimos oito para calcular a média de cada variável medida. O resultado final é obtido fazendo uma média dos valores que foram calculados em cada ponto, arredondada a zero casas decimais para cada variável medida.

Para cumprir a norma [5], as variáveis calculadas têm de apresentar valores contidos nos intervalos apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Valores de deflexão, ressalto e força máxima para praticáveis de ginástica artística [5].

Deflexão (mm)	Ressalto (mm)	Força Máxima (N)
$X \leq 75$	$245 \leq X \leq 335$	$X \leq 3900$

1.4 Norma FIG-RG 1 – Ginástica rítmica

Na norma FIG-RG 1 [6] encontram-se as diretivas para pisos de ginástica rítmica, que prevê a realização de três tipos de ensaios diferentes para garantir que um praticável está dentro desta. Os três tipos de ensaios a realizar são testes de impacto, testes para determinação da rigidez estática e testes de atrito na superfície superior do praticável.

Relativamente aos testes de impacto, segundo a norma [6] eles devem ter as seguintes características.

O impactor a utilizar terá de ter uma massa total de 10 ± 0.1 kg e deve ter uma superfície de impacto plana de 100 ± 5 mm de diâmetro. As extremidades do impactor devem ter um chanfro para precaver eventuais danos causados na superfície do piso.

No momento do impacto com a superfície a testar o impactor tem de possuir uma velocidade de $2.8 \pm 3\%$ m/s, o que corresponde a uma queda de 400 mm. Entre cada ensaio é necessário aguardar um período de tempo nunca inferior a 120 segundos.

A amostra do piso a testar deverá ter um tamanho horizontal mínimo de 2000×1200 mm. Os pontos do piso onde os impactos devem ser realizados também é estipulado pela norma [6] e encontram-se representados na Figura 1.2.

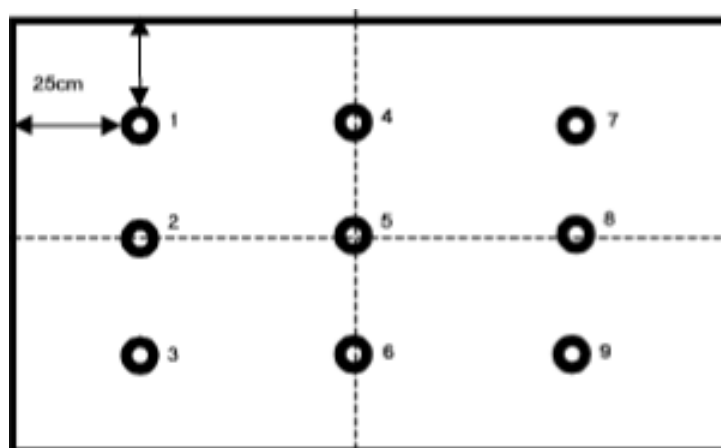


Figura 1.2 – Localizações de impacto para pisos de ginástica rítmica [6].

Cada ponto receberá dez impactos, perfazendo assim um total de noventa. As variáveis e cálculos a ter em conta são as mesmas anteriormente indicadas para a norma FIG-MAG 1. Para cumprir a norma [6], as variáveis calculadas têm de apresentar valores contidos nos intervalos apresentados na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Valores de deflexão, ressalto e força máxima padrão para praticáveis de ginástica rítmica [6].

Deflexão (mm)	Ressalto (mm)	Força Máxima (N)
$21 \leq X \leq 27$	$120 \leq X \leq 180$	$X \leq 3700$

1.5 Máquinas de ensaios de impacto

Em termos de máquinas de impacto existem vários tipos, sendo as mais comuns as máquinas de ensaios por pêndulo e a máquina de ensaios de queda livre.

As máquinas de ensaios por pêndulo são normalmente usadas para ensaios do tipo Charpy ou Izod. Neste tipo de testes a carga a aplicar é determinada pela energia potencial inicial aplicada, isto é, dependendo da altura a que o pêndulo foi libertado. Existem vários tipos de máquinas de pêndulo como podemos verificar na Figura 1.3, sendo a energia potencial inicial dependente do tamanho da máquina utilizada [9].



Figura 1.3 – Máquinas de ensaios de impacto por pêndulo [9].

No método de Charpy, a amostra é simplesmente apoiada nas duas pontas, e atingida por um pêndulo no seu ponto médio (Figura 1.4), transferindo para o provete a sua parte da sua energia cinética, sendo a restante dissipada. A única diferença relativamente ao método de Izod reflete-se no modo de fixação do provete, encontrando-se neste método, fixo numa extremidade e livre na outra. Os provetes utilizados têm geralmente a forma de uma viga espessa, possuindo um entalhe no seu ponto médio como podemos ver na Figura 1.4. Como principais vantagens da sua utilização, estes métodos destacam-se pela sua simplicidade e facilidade de instrumentação, sendo um método bastante útil, rápido e eficaz para estabelecer comparações entre vários materiais relativamente à capacidade de absorção de energia [10].

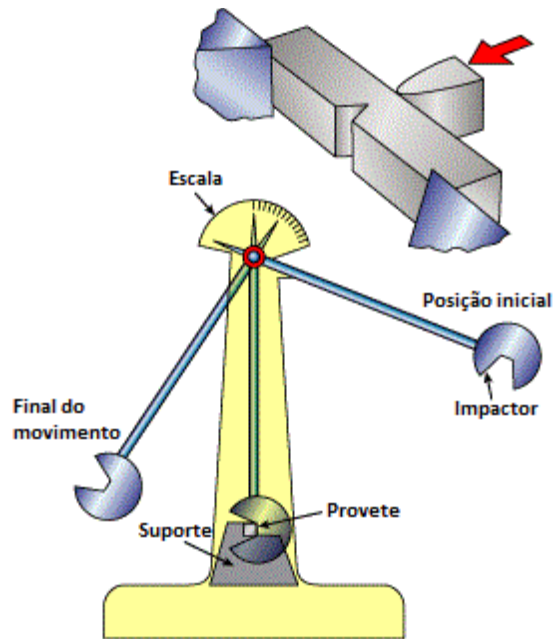


Figura 1.4 – Ilustração exemplificativa de um ensaio de Charpy ou Izod [7].

Em relação as máquinas de ensaios de impacto por queda livre (Figura 1.5), existem diversas geometrias, e estas permitem avaliar um maior número de parâmetros que seriam impossíveis na máquina de ensaios de impacto por pêndulo.



Figura 1.5 – Máquina de ensaios de impacto por queda livre [11].

Normalmente possuem uma estrutura rígida onde estão montados os diversos equipamentos, um sistema de guiamento de baixo atrito do impactor e um sistema de aquisição de dados que pode variar de máquina para máquina (Figura 1.6).

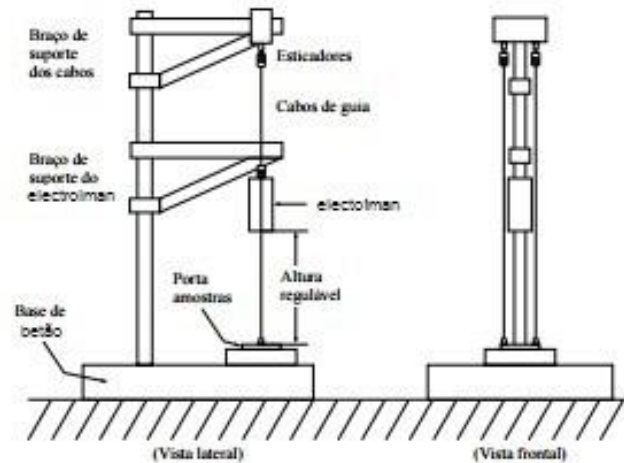


Figura 1.6 – Ilustração de máquina de ensaios de impacto por queda livre e dos seus diversos componentes [12].

Este tipo de máquinas permite a obtenção de uma curva de deslocamento em função do tempo, uma curva de carga aplicada em função do tempo, força máxima, deslocamento máximo, velocidade de impacto, etc [12]. O trabalho seguidamente apresentado foi realizado com uma máquina semelhante.

Capítulo 2

2. Material Utilizado

Este capítulo contempla uma descrição detalhada da máquina de ensaios utilizada, das amostras a testar e das alterações feitas na máquina de ensaios.

2.1 Máquina de ensaios de impacto (MEI)

A máquina de ensaios de impacto, ilustrada na Figura 2.1, utilizada durante esta dissertação, encontra-se no DEM. Esta foi construída no ano letivo 2014/2015 por alunos do mestrado integrado em engenharia mecânica da universidade de Aveiro, tendo já sido utilizada em projetos anteriores. Esta é uma máquina de impacto por queda livre, no entanto ao contrário da maioria das máquinas o guiamento é efetuado pelo próprio impactor através de dois rolamentos lineares e não por guias adjacentes.

Durante a realização deste projeto a estrutura da máquina não foi alterada, no entanto foram feitos alguns aperfeiçoamentos e houve também algumas adições de forma a garantir um melhor funcionamento, e proporcionar resultados mais fiáveis nos ensaios de impacto sobre as amostras de piso de ginástica bem como em outro tipo de provetes.

Relativamente à MEI os componentes presentes nesta podem ser divididos em cinco grupos [7], que são:

- Viga de suporte do impactor;
- Guincho de elevação do impactor;
- Impactor;
- Mecanismo de libertação do impactor;
- Sistema de aquisição de dados.



Figura 2.1 – Máquina de ensaios de impacto presente no DEM.

Segue-se uma análise detalhada sobre estes grupos de componentes presentes na MEI.

2.1.1 Viga de suporte do impactor

Esta viga (Figura 2.2) é um dos órgãos principais da MEI, e como o nome indica é esta a responsável pelo suporte do impactor. É uma viga em aço com perfil em H e encontra-se encastrada pela sua extremidade direita a uma coluna mestra do DEM.

O suporte e guiamento do impactor é conseguido através da utilização de rolamentos lineares, estes encontram-se situados na extremidade esquerda da viga. O suporte do sistema de aquisição de posição encontra-se também acoplado a esta viga mais precisamente encontra-se aparafusado a uma das caixas de rolamentos lineares presentes na extremidade esquerda da viga.

No decorrer desta dissertação foram ainda adicionados novos componentes que usam a viga de suporte do impactor como base de suporte.

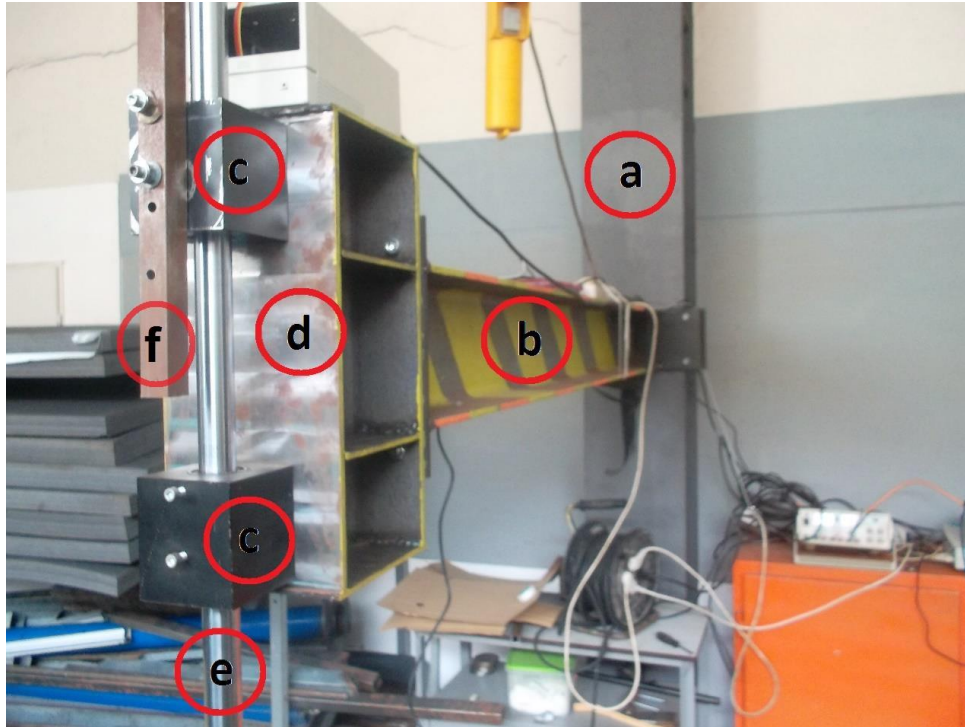


Figura 2.2 – Viga de suporte do impactor: (a) pilar do DEM; (b) viga de suporte do impactor; (c) cubos de alojamento dos rolamentos lineares; (d) topo soldado à viga (b); (e) varão corredeira do impactor; (f) suporte do encoder. Imagem adaptada de [7].

O suporte do encoder (Figura 2.3) é feito em aço e está aparafusado à caixa de rolamento superior através de dois parafusos M6. Esta peça tem como função o suporte do sistema de aquisição de posição/tempo. No trabalho agora apresentado foram efetuados diversos furos neste suporte, por forma a ser possível ajustar a sua altura permitindo assim a utilização de *encoders* com um curso maior, bem como melhorar a versatilidade do equipamento dando-lhe a capacidade de testar outro tipo de provetes.



Figura 2.3 – Suporte do *encoder*.

2.1.2 Guincho de elevação do impactor

O guincho de elevação do motor, encontra-se fixo a uma viga de suporte e esta por sua vez está aparafusada à mesma coluna do DEM que a viga de suporte do impactor, no entanto está a uma altura superior como podemos ver na Figura 2.4.

O guincho tem como função elevar o conjunto do impactor até à altura desejada para efetuar a queda.



Figura 2.4 – Guincho e respetiva viga de suporte: (A) guincho; (B) cabo de aço; (C) fio elétrico de alimentação do guincho; (D) viga de suporte do guincho; (E) coluna mestra do DEM.

O guincho utilizado é um PBF 100 da Belflex ® (Figura 2.5); está equipado com um motor monofásico e tem as características apresentadas na Tabela 2.1.



Figura 2.5 – Guincho PBF 100 [13].

Tabela 2.1 – Características do guincho PBF 100 [13].

Carga máxima (Kg)	100
Alimentação (V)	230
Intensidade de Corrente (A)	2,2
Potência de entrada (W)	480
Velocidade de elevação (m/min)	10
Elevação máxima (m)	12
Diâmetro do cabo (mm)	3
Carga de rotura do cabo (Kg)	800
Peso (Kg)	12
Dimensões (mm)	370x170x200

2.1.3 Impactor

O Impactor é um dos elementos principais da MEI, pois é este que faz o contacto com a amostra a testar. É constituído por várias peças, entre elas destaca-se o corpo central que é um

varão em aço EN C 45 E (Figura 2.6), com tratamento superficial cromado duro e é através deste que é feito o guiamento da máquina, pois o varão encontra-se colocado no centro dos rolamentos lineares. Estes por sua vez encontram-se acoplados à viga de suporte do impactor como já foi referido anteriormente.

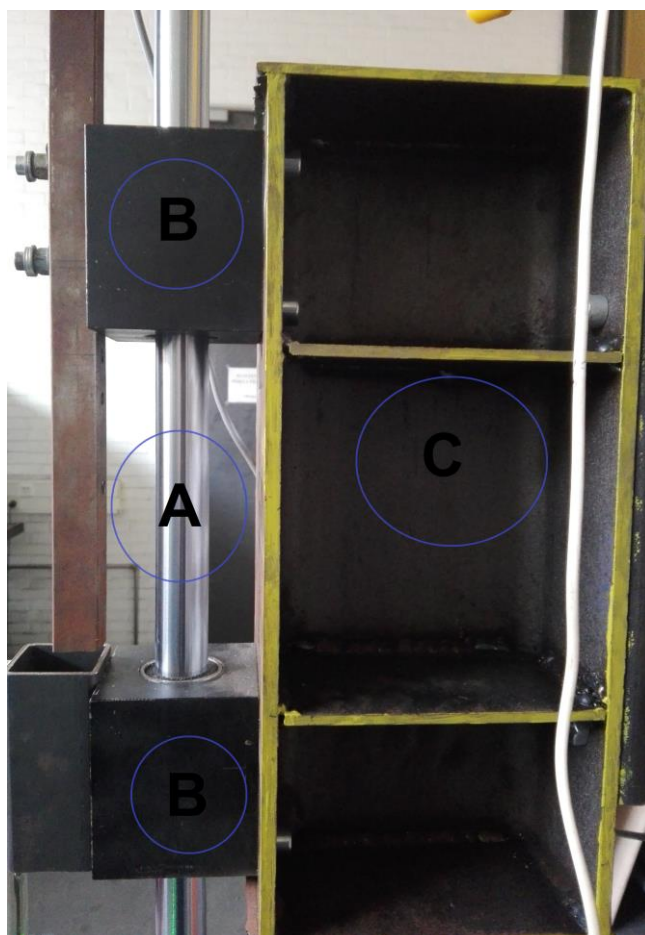


Figura 2.6 – Suporte intermédio do impactor: (A) varão de aço; (B) caixas de rolamentos; (C) viga de suporte do impactor.

Na parte superior do impactor (Figura 2.7), existe um sistema de amarração, que está aparafusado ao varão e cujo aperto é auxiliado por uma contraporca, ao qual o guincho é amarrado e desta forma é possível elevar o impactor. Pode ainda ser encontrada uma chapa em alumínio que tem como função auxiliar a aquisição de dados, mais concretamente a aquisição do deslocamento, para tal a chapa possui um furo que permite o acoplamento do fio do *encoder* através de um parafuso.

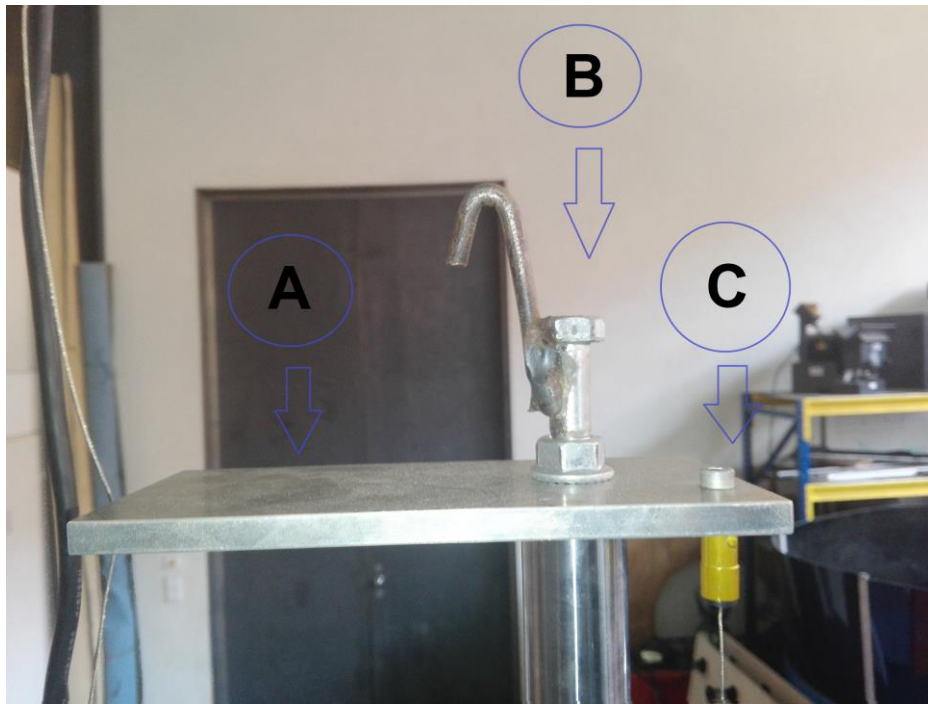


Figura 2.7 – Parte superior do Impactor: (A) chapa de auxílio à aquisição de dados; (B) sistema de amarração; (C) parafuso de aperto do fio do *encoder*.

A parte inferior do impactor é constituída por quatro peças (Figura 2.8). Começando de baixo para cima encontra-se um disco em alumínio, sendo este que faz o contacto com a amostra aquando dos ensaios, na parte superior deste temos uma célula de carga que irá adquirir a força exercida. Acima da célula de carga existe um peso em aço que tem como função o aperto da célula de carga ao cilindro de aperto ao varão e, simultaneamente, afinar o peso total do impactor. O cilindro de fixação ao varão tem cinco furos, um deles central, que através de um parafuso, faz o aperto desta peça ao varão. Existem mais quatro parafusos na periferia que irão acoplar esta peça ao peso superior da célula.

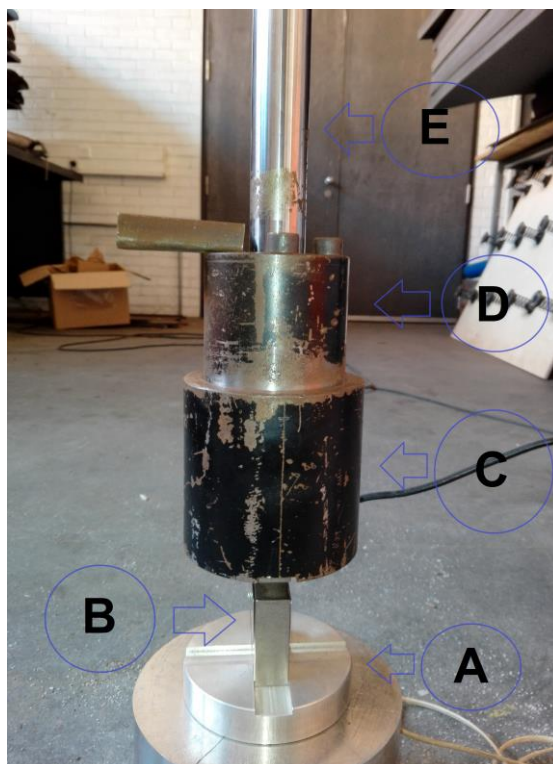


Figura 2.8 – Parte inferior do impactor: (A) disco inferior à célula de carga; (B) célula de carga; (C) peso superior à célula de carga; (D) cilindro de fixação; (E) varão.

O impactor como conjunto respeita os requisitos da norma FIG MAG 1 [5].

2.1.4 Mecanismo de libertação do impactor

O sistema de libertação do impactor (Figura 2.9) consiste, essencialmente numa fechadura de uma porta automóvel; é um sistema de atuação rápida pois possui um trinco pré-tensionado por uma mola, o que leva a que a sua abertura seja feita de forma rápida bastando que para isso seja aplicado um movimento na patilha [7].

O sistema tem um cabo de aço na parte superior da fechadura que permite com que esta seja pendurada ao guincho.

O funcionamento deste sistema é relativamente simples, consiste em acoplar o sistema de amarração que se encontra no topo do impactor ao trinco da fechadura, como podemos ver na Figura 2.10. Após isto estar concluído o impactor pode ser elevado através da atuação da botoneira do guincho. Quando o impactor se encontrar à altura pretendida e deste modo estar

pronto para a queda livre é feita a atuação da fechadura através de um fio que se encontra preso na sua patilha e que é pelo operador da máquina puxado aquando dos ensaios.

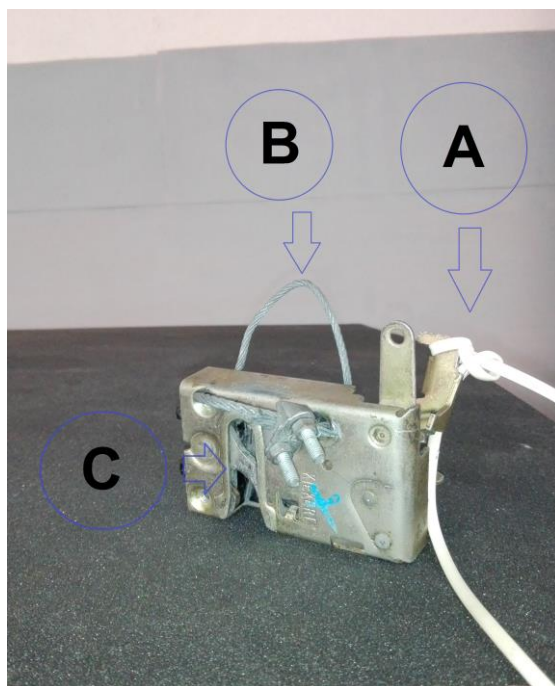


Figura 2.9 – Sistema de libertação do impactor: (A) patilha de atuação do sistema; (B) cabo de aço; (C) trinco da fechadura.



Figura 2.10 – Acoplamento do gancho do impactor à fechadura.

2.1.5 Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados da MEI é constituído por dois subsistemas distintos, um visa a obtenção do deslocamento em função do tempo (*encoder*) e o outro a obtenção de força ao longo do ensaio (célula de carga).

Em relação ao sensor utilizado na medição da distância percorrida pelo impactor, é um *encoder* de fio da marca Roundss® de referência RLX50A (Figura 2.11), cujas características se encontram listadas na Tabela 2.2. Este funciona como um potenciómetro de alta precisão que, em conjunto com uma bobina de fio de aço tensionado por uma mola, recolhe automaticamente quando largado e envia para o sistema de aquisição de dados valores de tensão que indicam a posição em que se encontra o fio. Segundo o fabricante a precisão deste equipamento tende para o infinito [14]. Naturalmente sendo um sistema analógico, a precisão é limitada a jusante pelo equipamento de aquisição de sinal.



Figura 2.11 – *Encoder* de fio RLX50A.

Tabela 2.2 – Características do *encoder* de fio RLX50A.

Resolução	∞ (teórico)
Tensão de saída (V cc)	0-10
Tensão de entrada (V cc)	24
Intervalo de medição (mm)	0-1000

Como já foi referido neste capítulo o *encoder* está acoplado pela sua parte inferior a um suporte que, por sua vez, se encontra aparafusado a uma das caixas de rolamentos presentes na viga de suporte do impactor. O fio na sua parte superior é aparafusado a uma chapa de apoio à aquisição de dados presente no sistema do impactor. Pode-se ver a forma como o sistema está montado na Figura 2.12.

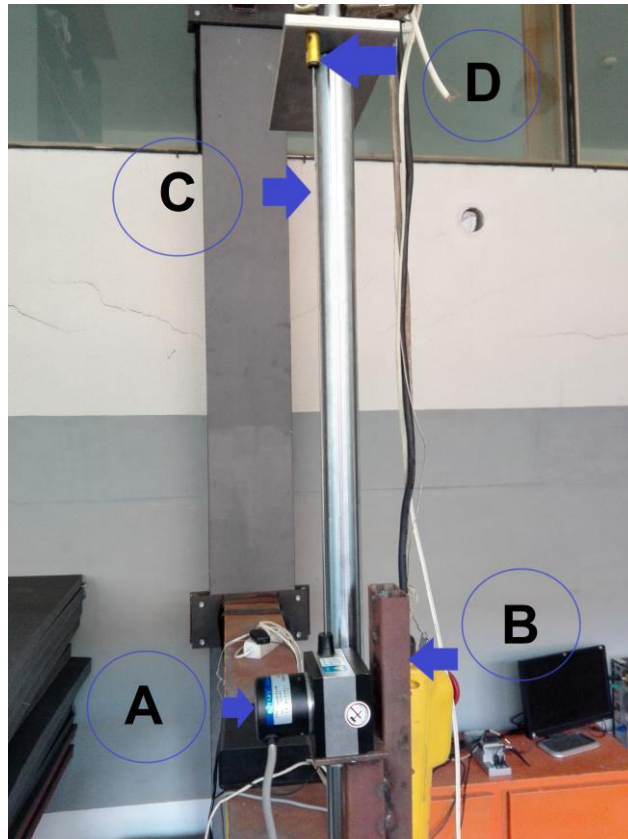


Figura 2.12 – Montagem do sistema de medição de deslocamento: (A) *encoder* de fio RLX50A; (B) suporte do *encoder*; (C) fio do *encoder*; (D) ligação do fio do *encoder* a placa de apoio à aquisição de dados.

Para que o sistema de aquisição de deslocamento (*encoder* de fio) seja funcional é necessário fornecer uma tensão de entrada (Tabela 2.2); para tal foi utilizada uma fonte de alimentação designada por Escort EPS-3250 (Figura 2.13). As características da fonte de alimentação encontram-se listadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Características da Escort EPS-3250.

Tensão de alimentação (V ca)	220
Número de canais de saída	2 reguláveis + 1 fixo
Tensão de saída dos canais reguláveis (V cc)	0-25
Intensidade de corrente de saída dos canais reguláveis (A)	0-0.6
Tensão de saída do canal fixo (V cc)	5
Intensidade de corrente de saída do canal fixo (A)	2



Figura 2.13 – Fonte de alimentação Escort EPS-3250.

O sistema utilizado para obter os valores de tensão de saída do *encoder* é o Spider 8 da HBM® (Figura 2.14).



Figura 2.14 – Spider 8.

De acordo com o manual de instruções deste *hardware* [15], ele é dotado de sete cartas de aquisição de dados, sendo que duas delas possuem capacidade de leitura de tensão de corrente contínua entre 0-10 V. A conectividade com o computador é feita através de uma ligação RS232. Na tabela podemos ver algumas das características do Spider 8.

Tabela 2.4 – Características do Spider 8.

Sensores passíveis de serem lidos através das cartas instaladas	Ponte completa; Meia Ponte; Corrente contínua de 0 a 10 V Frequência
Taxa de aquisição	Até 9600 amostras por segundo
Filtros	Butterworth Bessel
Conectividade com computador	Porta série RS232 Porta paralela LPT
Taxa de transferência	Até 38400 bits por segundo

O *software* responsável pela leitura dos dados obtidos pelo *hardware* referido anteriormente é o Catman 4.5 (Figura 2.15). O manual de instruções deste *software* está registado em trabalhos anteriores [7].

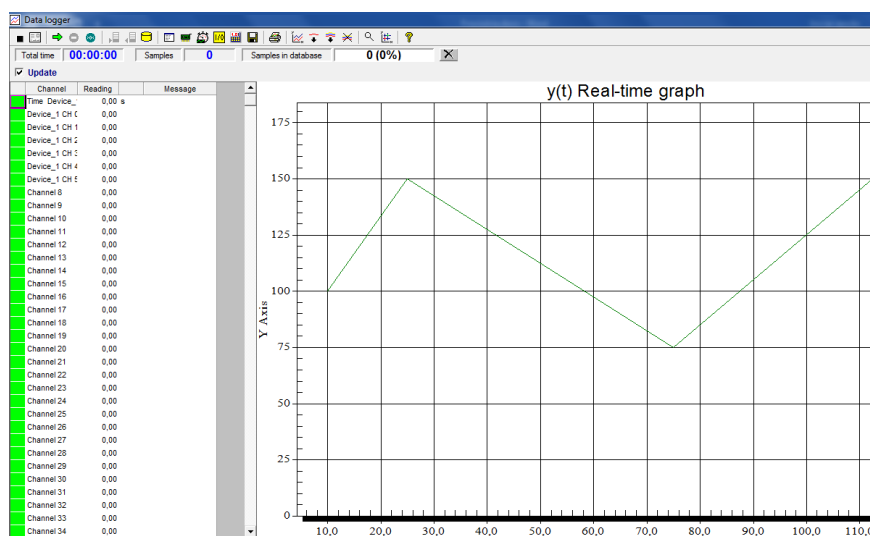


Figura 2.15 – Módulo de aquisição de dados do Catman 4.5.

Em relação ao sistema de aquisição de força, ele é constituído por um sensor, *hardware* de aquisição de dados e *software* de aquisição de dados.

O sensor é uma célula de carga (Figura 2.8 (B)) com capacidade máxima de 5 kN. Nos terminais da célula foi adaptado um conector RJ50 fêmea ao qual irá ligar um RJ50 macho que faz a ligação à carta de aquisição de dados (Figura 2.16).

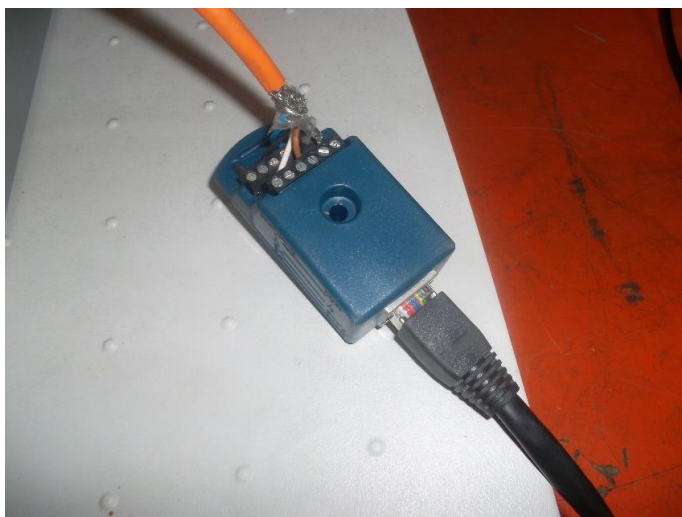


Figura 2.16 – Conector RJ50.

O macho do conector RJ50, por sua vez irá fazer a ligação com a carta NI 9237, visível na Figura 2.17, que está acoplado ao chassis CompactDAQ (Figura 2.18), estes componentes são fabricados pela National Instruments®. Na Tabela 2.5 e Tabela 2.6 encontram-se as características da carta e do chassis, respetivamente.



Figura 2.17 – Carta NI9237.



Figura 2.18 – Chassis CompactDAQ.

Tabela 2.5 – Características da carta NI9237.

Número de canais disponíveis	4 canais analógicos
Voltagem de excitação	2.5, 3.3, 5 ou 10 v
Amostragem máxima	50000 amostras/s
Tipo de sensores compatíveis	Ponte completa e meia ponte
Conectividade com sensores	RJ50
Frequência	12.8 MHz

Tabela 2.6 – Características do chassis CompactDAQ.

Dimensões	254.0 mm × 88.1 mm × 58.9 mm
Peso	900 g
Tensão de alimentação	24 v cc
Conectividade com computador	USB
Número de cartas de aquisição permitidas	8
Tipo de cartas de aquisição suportadas	Cartas da série C (Temperatura, resistência, sensores baseados em ponte, tensão, acelerômetro e microfone, digital, corrente, temporização e sincronização).

Como podemos ver na Tabela 2.6 a conectividade entre o chassis CompactDAQ e o computador é feita através de uma ligação USB. O *software* que adquire os valores vindos do chassis é o LabVIEW, através duma aplicação (Figura 2.19) desenvolvida em trabalhos anteriores [16].

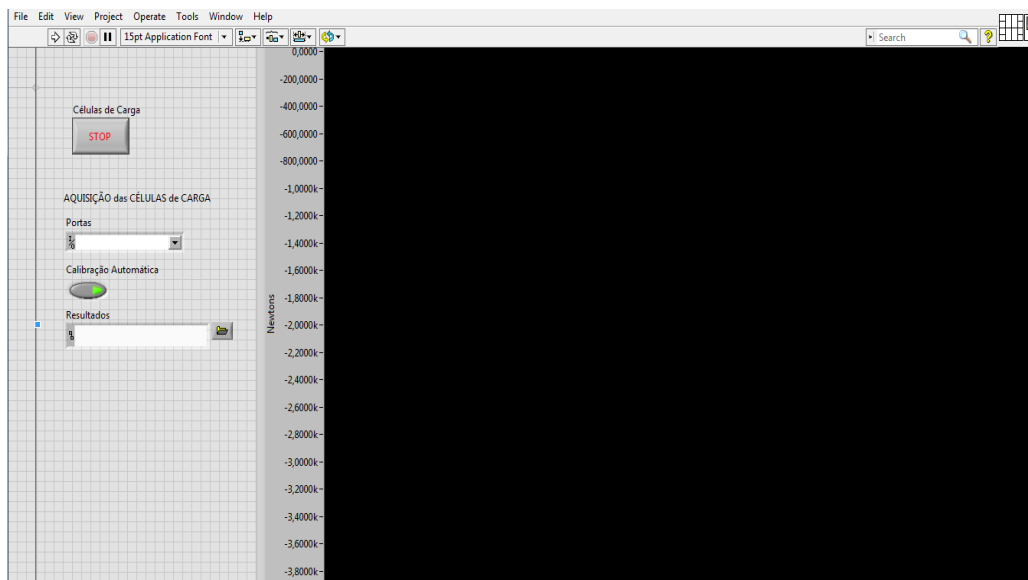


Figura 2.19 – Aplicação LabVIEW de leitura de valores de força.

2.2 Praticáveis de Ginástica artística

Nesta secção será abordada a estrutura e a forma das amostras de praticáveis de ginástica artística, que foram objeto de estudo ao longo desta dissertação – tratam-se de pisos de ginástica artística, propriedade da empresa Conbego Unipessoal, Lda.

Os dois tipos de praticáveis analisados têm o mesmo tipo de estrutura a qual pode ser vista na Figura 2.20, variando apenas a espessura de um componente.

As amostras foram cortadas do praticável como indica a norma [5], tendo como medidas normalizadas como já foi referido no Capítulo 1, 3000 por 2000 mm.

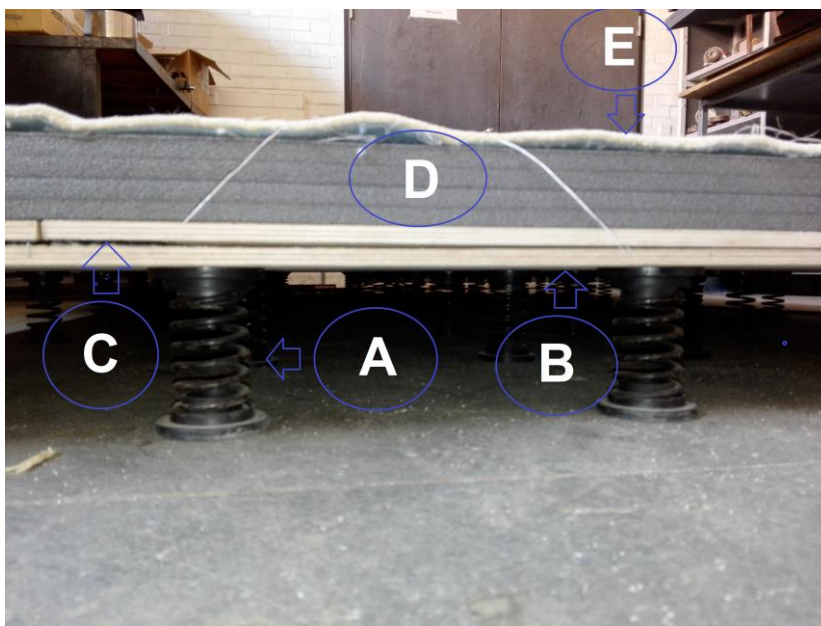


Figura 2.20 – Estrutura da amostra de piso de ginástica artística: (A) molas helicoidais; (B) placas de madeira inferiores; (C) placas de madeira superiores; (D) colchões de espuma polimérica; (E) alcatifa.

Passando agora a discriminar cada um dos elementos presentes na Figura 2.20 de baixo para cima.

Os primeiros elementos do piso a ter em conta são as molas helicoidais (Figura 2.21); são estas que fazem o contacto com o solo e estão acopladas nas placas de madeira inferiores.



Figura 2.21 – Mola helicoidal.

O elemento que se segue são as placas de madeira inferiores, estas têm as molas acopladas na sua face inferior (Figura 2.22) e contêm bandas de velcro para colar as placas de madeira superiores (Figura 2.23).



Figura 2.22 – Placa de madeira inferior com molas acopladas (vista de baixo).



Figura 2.23 – Placa de madeira inferior com bandas de velcro (vista de cima).

Existem ainda nove placas de madeira superior que são acopladas às placas de madeira inferiores através do velcro.

O elemento que se segue é o colchão de material polimérico. Este é o componente que varia nos ensaios realizados, pois foram testadas amostras com colchões de quatro camadas (Figura 2.24 (a)) e colchões de cinco camadas (Figura 2.24 (b)).

Cada amostra testada contém dois colchões do mesmo tipo, com 1500 mm de comprimento e 2000 mm de largura. Estes colchões são colocados sobre a superfície superior das placas de madeira superiores.

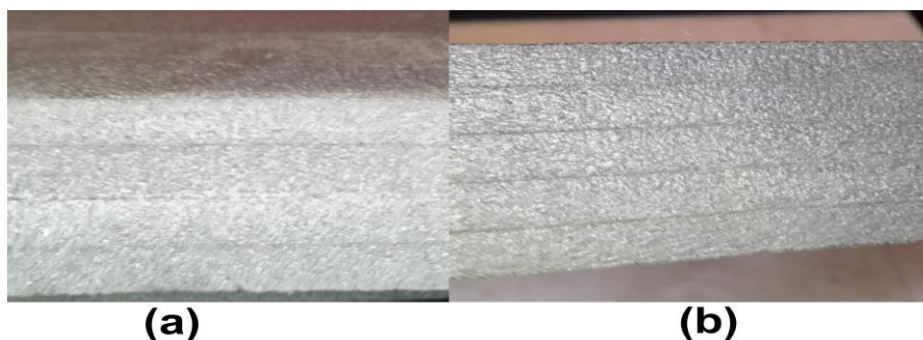


Figura 2.24 – Colchões de material polimérico: (a) colchão de quatro camadas; (b) colchão de cinco camadas.

Por fim, a alcatifa que como podemos ver na Figura 2.20 é o elemento da amostra experimental que se encontra parte superior.

Na Figura 2.25 podemos verificar a sequência de montagem das amostras.



Figura 2.25 – Sequência de montagem da amostra do piso de ginástica artística.

2.3 Adições e alterações da máquina de ensaios de impacto

Após terem sido concluídos os ensaios experimentais nos pisos fornecidos pela empresa Conbego Unipessoal, Lda, verificou-se que existiam alguma falhas na MEI, desta forma levou-se a cabo algumas alterações e/ou adições.

Em termos de adições, foram criados dois sistemas:

- fim de curso que proporciona a paragem automática do guincho na posição de início de queda do impactor;
- conjunto de impactor para ensaios em praticáveis de ginástica rítmica.

A principal alteração feita na MEI, foi no sistema de aquisição e tratamento de dados de deslocamento, mais concretamente no dispositivo de leitura do sensor, no *software* utilizado para a aquisição de dados e no pós-processamento dos resultados.

2.3.1 Sistema de paragem automática do guincho

Após mais de quinhentos ensaios realizados, tanto nesta dissertação como em trabalhos anteriores [7], [8], em diversos pisos utilizados para a prática de ginástica artística, julgou-se importante incluir na MEI um sistema cujo objetivo é a paragem do impactor à altura pretendida para o ensaio, isto de forma automática.

A principal razão para esta adição foi reduzir o tempo de preparação de cada ensaio, visto que a elevação do impactor é feita por um guincho com motor controlado pelo operador através de uma botoneira pendente do equipamento. Naturalmente, a precisão de paragem na altura de queda pretendida era dependente do cuidado do operador, facto que poderia conduzir a erros. Na operação, o técnico tinha de, por tentativas, subir e descer o impactor até que este estivesse na posição pretendida. Era uma operação bastante morosa e repetitiva, naturalmente indutora de possíveis erros.

O sistema de paragem automática do guincho é constituído por uma estrutura mecânica de suporte para o sensor, um sistema elétrico de alimentação do sensor e corte da alimentação do guincho, e uma peça acoplada ao sistema do impactor que define a posição deste. Estes sistemas serão seguidamente detalhados.

Em termos de estrutura mecânica (Figura 2.26), esta é constituída por quatro perfis Bosch Rexroth 30 X 30 [17] em alumínio, acoplados entre si por parafusos M6. Foram escolhidos estes

perfis pois são de fácil ajustabilidade, o que permite que a estrutura seja afinável quer em altura quer em largura.

O perfil que se encontra na posição vertical (Figura 2.26 (A)), tem um comprimento de 800 mm e está solidário com a viga de suporte do impactor.

Por sua vez, o perfil horizontal (Figura 2.26 (B)), tem comprimento de 400 mm e está acoplado ao perfil vertical através de parafusos M6, sendo que a sua posição em altura é ajustável ao longo dos 800 mm. Este é o perfil cuja posição deve ser ajustada de forma a garantir uma determinada altura de queda do impacto.

Ao perfil horizontal, estão ligados dois perfis (Figura 2.26 (C)) com 90 mm de comprimento, numa posição perpendicular a este. A distância entre os perfis, que estão colocados de maneira paralela entre eles, é ajustável ao longo do perfil horizontal. A principal função destes dois perfis é o suporte das peças que contêm o emissor e o recetor do sensor.

As peças de suporte do sensor (Figura 2.26 (D e E)) foram maquinadas no DEM, e os seus desenhos de definição encontram-se no anexo A. Estas peças estão seguras nos dois perfis paralelos com parafusos M6 e a sua posição é ajustável ao longo dos perfis, garantindo deste modo uma fácil centragem entre o emissor e o recetor. Na parte superior às peças de aço existe uma chapa que é apertada pelos parafusos M6 já referidos, e tem como função o aperto dos cabos elétricos provenientes do sensor.

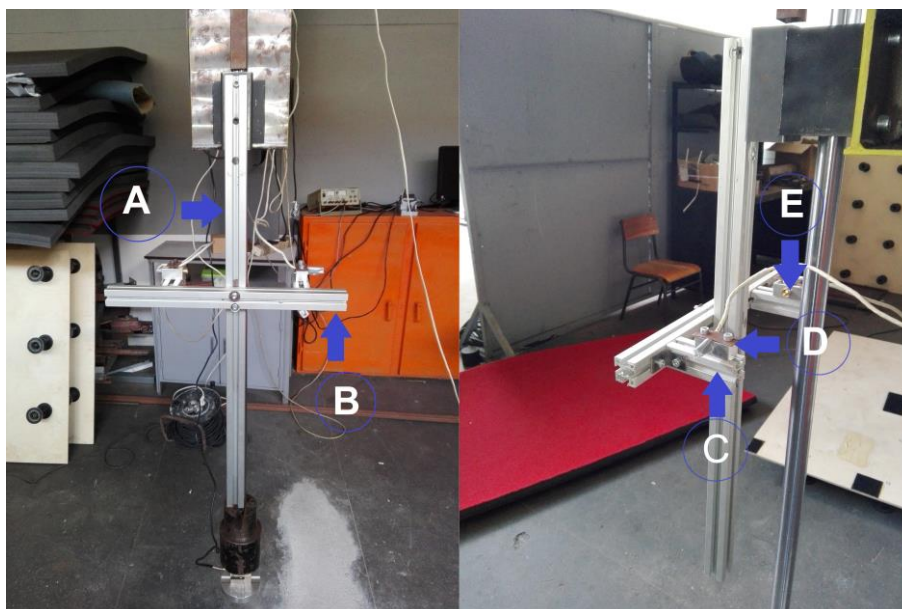


Figura 2.26 – Estrutura mecânica do sistema de paragem do guincho: (A) perfil Vertical; (B) perfil horizontal; (C) um dos perfis paralelos; (D) peça maquinada de suporte do recetor; (E) peça maquinada de suporte do emissor.

Para que o sistema funcionasse foi necessário projetar um sistema elétrico que fosse capaz de alimentar o sensor bem como cortar a corrente do motor do guincho quando o impactor estiver a altura desejada para o ensaio. O Anexo B apresenta o desenho do sistema elétrico.

O sistema criado é um sensor de posição ótico, que contém um emissor módulo laser verde e um recetor que é um fototransistor BPW77-NB. A alimentação do sensor é feita através de um simples carregador de telemóvel que faz a conversão de corrente alternada de 230 V para corrente contínua de 5 V e intensidade de 450 mA. No entanto o laser tem uma tensão máxima de alimentação de 3,3 V pelo que foi necessário adicionar um limitador de tensão LM 3940 e dois condensadores indicados na ficha técnica deste componente (Anexo B).

Neste esquema, o fototransistor é o recetor do sensor e como próprio nome indica é um transistor que é atuado quando incide sobre a sua “cabeça” um feixe luminoso e desta forma deixa passar corrente. Este componente funciona a uma tensão de 5 V e debita uma corrente máxima 100 mA.

Dado que se pretende ativar um relé que fará o corte da alimentação do guincho – alimentado a 220 V, 2,2 A (Tabela 2.1) -, estes 100 mA não são suficientes. De facto, o relé selecionado – referência T7C55D da empresa TE connectivity ® - requer um mínimo de 100 mA para atuar os seus contactos (Tabela 2.7). Torna-se assim necessário amplificar a intensidade proveniente do fototransistor pois esta é muito próxima do mínimo necessário para atuar o relé, tendo-se recorrido ao transistor NPN, referência BC547.

Em funcionamento enquanto o fototransistor recebe o feixe laser o relé atua o contacto e deste modo o motor do guincho funciona normalmente; quando o feixe laser é interrompido o relé impede que a corrente chegue ao motor e o guincho para de elevar o impactor.

Para verificar se o sistema elétrico estava bem projetado, inicialmente utilizou-se uma placa de ensaios para montar o circuito (Figura 2.27).

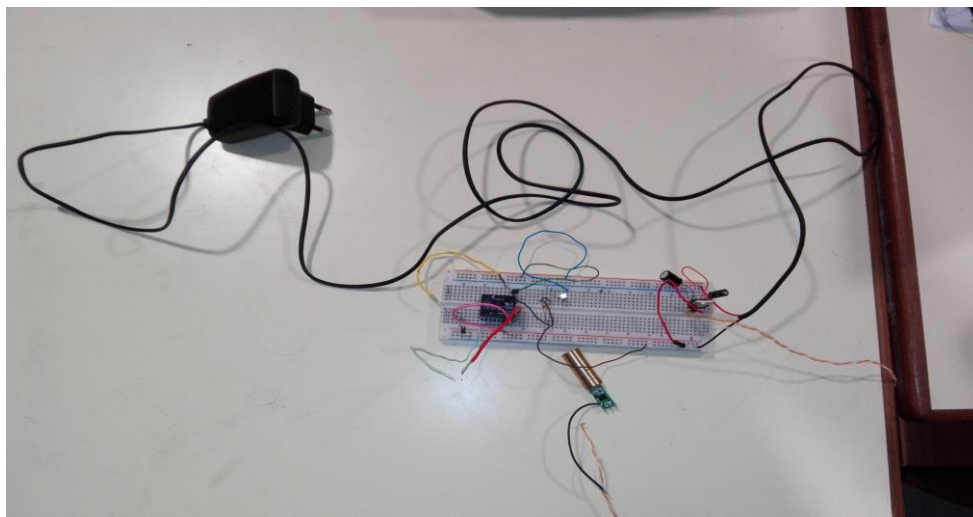


Figura 2.27 – Placa de ensaios com o sistema elétrico montado.

Posteriormente, os componentes elétricos foram soldados a estanho numa placa de circuito impresso que por sua vez, é aparafusada à caixa de alojamento do circuito (Figura 2.28).



Figura 2.28 – Caixa com placa de circuitos impressos.

Na Tabela 2.7 encontram-se as principais características de alguns componentes utilizados no sistema elétrico projetado. As fichas técnicas de todos os componentes utilizados encontram-se no Anexo B.

Tabela 2.7 – Características principais de alguns componentes elétricos.

Carregador de telemóvel	
Tensão de saída (V)	5
Intensidade de corrente à saída (mA)	450
LM3940 (Limitador de tensão)	
Tensão de entrada (V)	5
Tensão de saída (V)	3,3
Módulo laser verde	
Tensão de alimentação máxima (V)	3,3
BPW77NB (Fototransistor)	
Tensão de alimentação (V)	5
Intensidade de corrente máxima à saída (mA)	100
BC547 (Transistor NPN)	
Tensão máxima entre coletor e emissor (V)	45
Tensão máxima entre coletor e base (V)	50
Corrente máxima no emissor (mA)	460
T7CS5D (Relé)	
Tensão de alimentação da bobina (Vdc)	3-48
Tensão máxima no contacto (Vac)	240
Corrente máxima no contacto (A)	10
Corrente mínima de alimentação da bobina (mA)	100

Para que o feixe laser seja interrompido foi fixa uma chapa de aço quinada a 90°, com um furo de 11 mm numa das extremidades, ao cilindro de fixação presente no impactor (Figura 2.29). Quando o impactor é elevado esta chapa interrompe o feixe laser.



Figura 2.29 – Chapa quinada apertada no cilindro de fixação.

No final do projeto do sistema de paragem automática do guincho estar completo, foram feitos dez testes para verificar a repetibilidade deste quanto à posição de paragem.

Os testes consistiram em descer o impactor e posteriormente subir até a posição de paragem automática registando-se nesse momento a distância entre um ponto fixo e um elemento do impactor (cilindro de fixação). A distância foi registada com a ajuda de um paquímetro com capacidade para medir até $300 \pm 0,05$ mm. Os resultados obtidos encontram-se no Gráfico 2.1.

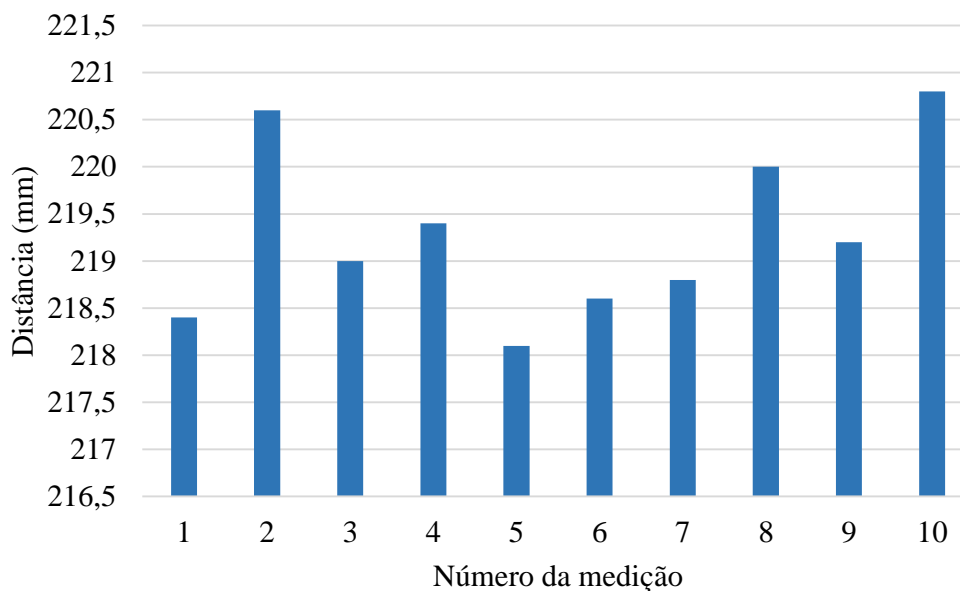


Gráfico 2.1 – Repetibilidade do sistema de paragem do guincho automático.

Os resultados obtidos apresentam um erro máximo de $\pm 1,3$ mm em relação à média, bem como um desvio padrão inferior ao milímetro (Tabela 2.8) valores que se consideram aceitáveis

para o projeto em curso, especialmente comparados com o sistema manual até aí existente. De facto, o erro na velocidade, após a queda do impactor em 800 mm, é 0,08 %.

Tabela 2.8 – Média e desvio padrão do sistema de paragem automática do guincho.

Média de distâncias	219,29 mm
Desvio padrão	0,92 mm

2.3.2 Sistema de Impactor para ensaios em praticáveis de ginástica rítmica

Uma das adições realizadas a MEI foi um impactor que visa a realização de ensaios de impacto em praticáveis de ginástica rítmica segundo a norma [6]. Algumas das peças foram aproveitadas do impactor de ensaios em piso de ginástica artística. São exemplos disto o sistema de amarração (Figura 2.7 (B)), a placa de auxílio à aquisição de dados (Figura 2.7 (A)), o disco inferior da célula de carga (Figura 2.8 (A)) e a célula de carga de 5 kN (Figura 2.8 (B)). Para que o peso do impactor estivesse de acordo com as diretivas da norma [6] foram pesadas as peças já existentes numa balança de precisão com capacidade até 20 kg +/- 1g e posteriormente foi calculado o peso das peças a maquinar para assim determinar as suas dimensões.

As novas peças maquinadas são: o varão em aço EN C 45 E com tratamento cromado duro, o cilindro de fixação e o peso superior à célula de carga. O desenho de definição destas peças encontra-se no Anexo C.

Após a maquinagem das peças pesou-se o conjunto completo do impactor na mesma balança de precisão utilizada anteriormente e verificou-se que o sistema de impactor para ensaios em pisos de ginástica rítmica pesa 9,9 kg o que está dentro das diretivas da norma [6].

2.3.3 Alteração no sistema de aquisição de dados do deslocamento e força

A alteração feita no sistema de aquisição de dados de deslocamento e de força teve como objetivo utilizar apenas um *software* para a aquisição dos valores de deslocamento e força, pois como se verificou durante os ensaios experimentais havia uma divergência na escala de tempo destes dois tipos de dados. Isto era causado pela diferença de tempo entre a ativação do *software*

de aquisição de força (aplicação desenvolvida no LabVIEW) e a ativação do *software* de aquisição de deslocamento (Catman 4.5). Este atraso entre a ativação dos dois *softwares* tinha como consequência a impossibilidade de sobreposição dos gráficos posição/tempo com os gráficos força/tempo, dificultando a análise de dados, bem como complicando claramente o *setup* do equipamento e conduzindo a um tempo de tratamento de dados superior.

Nesta etapa foi removido o *hardware* de aquisição de dados de deslocamento Spider 8, o *software* Catman 4.5 e a aplicação desenvolvida em LabVIEW de aquisição de valores de força.

Em substituição foi adquirida uma carta NI 9215 (Figura 2.30) da National Instruments® que é acoplada no chassis CompactDAQ (Figura 2.31) existente, havendo já outra carta de aquisição de sinal de força (NI 9237) nele disposta. Neste trabalho, a carta NI 9215 foi ligada ao *encoder* de acordo com o esquema presente no manual [18] para um tipo de ligação para sinais de tensão com terminação única.



Figura 2.30 – Carta NI 9215.



Figura 2.31 – Chassis CompactDAQ com cartas NI 9237 e NI 9215 acopladas.

Na Tabela 2.9 encontram-se as principais características da carta NI 9215 [17].

Tabela 2.9 – Principais características da carta NI 9215.

Tensões de entrada	$\pm 10 \text{ V}$
Numero de canais disponíveis	4
Taxa de resolução de conversão de sinal analógico para sinal digital	16 bits
Tipos de ligação com sensor	Conexão para sinal de tensão diferencial, conexão para sinais de tensão com terminação única.

Em termos de *software* utilizado para a aquisição de deslocamento e força simultaneamente utilizou-se o NI MAX (Figura 2.32) da National Instruments®, cujo manual de funcionamento se encontra no Anexo D. Como é dito no referido manual este *software* permite criar e guardar configurações para diferentes tipos de ensaios, sendo esta uma grande vantagem para o operador da MEI pois reduz o tempo dispendido na criação de configurações quando inicia uma sequência

de ensaios. Nas configurações é possível criar e guardar calibrações para os os sensores usados, bem como utilizar escalas de calibrações criadas noutros *softwares*.

Em termos de taxa de aquisição o NI MAX admite valores de frequência muito superiores aos permitidos pelo software Catman 4.5.

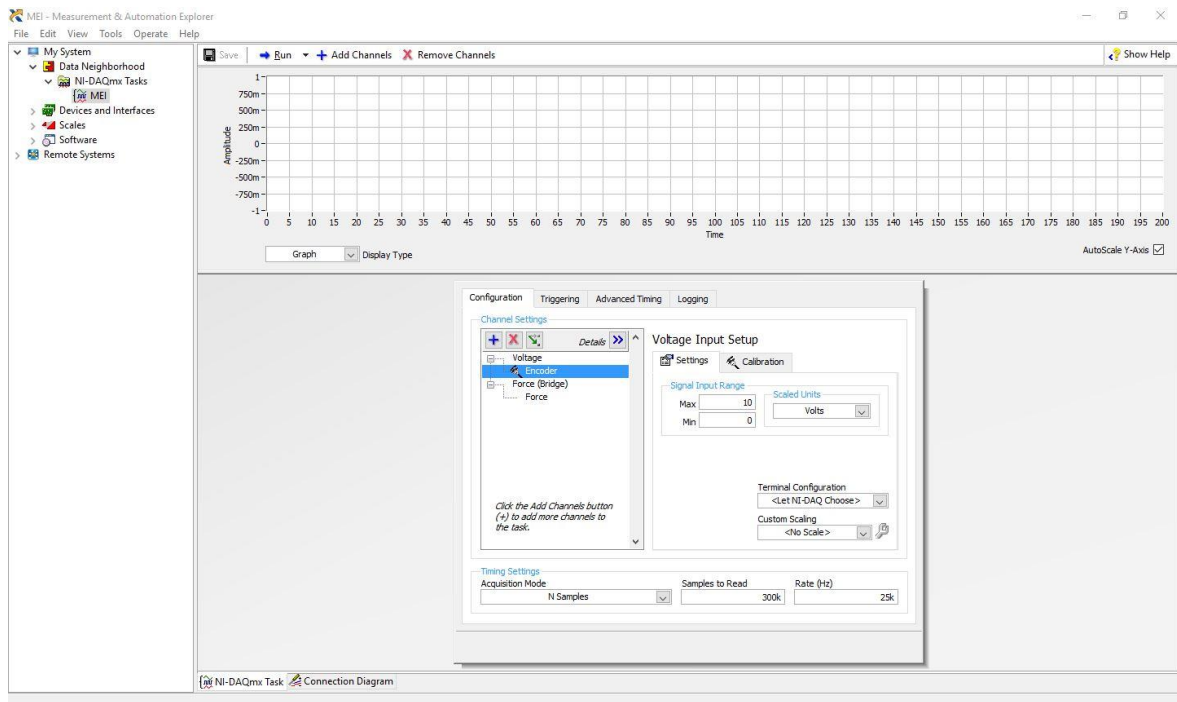


Figura 2.32 – Ambiente de aquisição de dados do NI MAX.

Capítulo 3

3. Procedimento Experimental

Neste capítulo serão descritos todos os passos realizados nos ensaios experimentais realizados nos pisos de ginástica artística bem como o procedimento para obtenção de um modelo matemático para cálculo de força a partir dos valores deslocamento.

3.1 Calibração do *encoder* de fio

Numa primeira fase do procedimento experimental houve necessidade de calibrar os equipamentos de medida na altura existentes. Iniciou-se a calibração pelo *encoder* de fio cuja saída em tensão, inicialmente era lida pelo aparelho Spider 8.

Como o tratamento de dados incide sobre uma diferença de distâncias entre o plano de referência ou zero (superfície da alcatifa) e o ressalto máximo e deflexão máxima, calibrou-se o *encoder* de fio com uma diferença de alturas. Para isto foi necessário encontrar uma base de referência plana do impactor, que neste caso foi escolhida uma face plana maquinada do bloco. A partir desta base foi medida uma distância até ao solo (também plano), com a ajuda de uma fita métrica metálica. Após esta medida deslocou-se o impactor aleatoriamente e registou-se quer as distâncias ao solo quer a tensão medida no sistema de aquisição de dados (Catman 4.5). Depois de registadas as cinco distâncias medidas com a fita métrica fez-se uma diferença entre os valores retirados e os 528 mm medidos inicialmente e foi obtida uma reta de calibração (Gráfico 3.1), descrita pela equação 1. Foi obtido um coeficiente de correlação quase perfeito o que indica que a calibração está de acordo com o esperado.

$$Distância Real = 100,63615 \times Tensão - 80,93516 \quad (1)$$

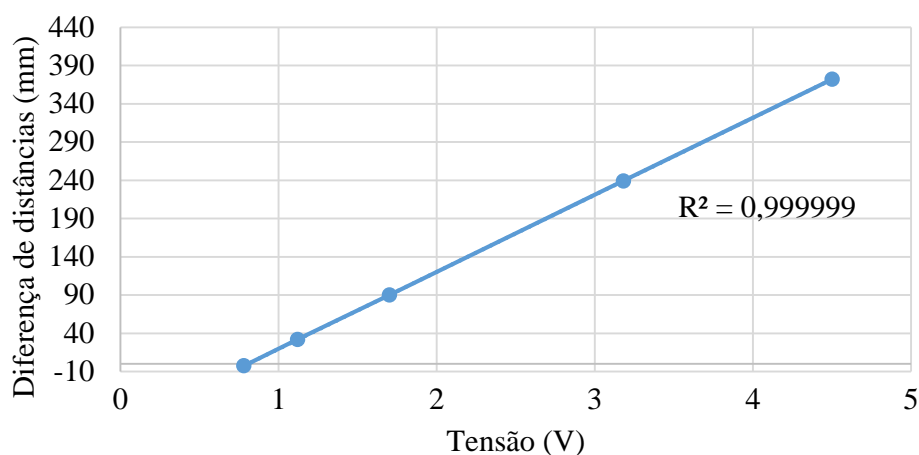


Gráfico 3.1 – Curva de calibração do *encoder* (Catman 4.5).

Após a mudança do sistema de aquisição de deslocamento foi necessário executar uma nova calibração pois foram alterados o *hardware* e o *software*. Conforme está indicado no manual do NI MAX no Anexo D, este *software* dispõe de uma ferramenta de calibração, esta ferramenta tem como vantagem a calibração por multipontos, portanto com a vantagem de se conseguir obter resultados mais rigorosos.

Nesta calibração foi feita uma medição direta com a fita métrica entre uma chapa de referência colocada no solo, e a placa inferior à célula de carga (Figura 3.1).

Foram feitas onze medições e registadas as tensões no *software* obtendo-se assim a curva de calibração que é aplicada nos ensaios realizados com o NI MAX (Gráfico 3.2).



Figura 3.1 – Exemplo de calibração do *encoder*.

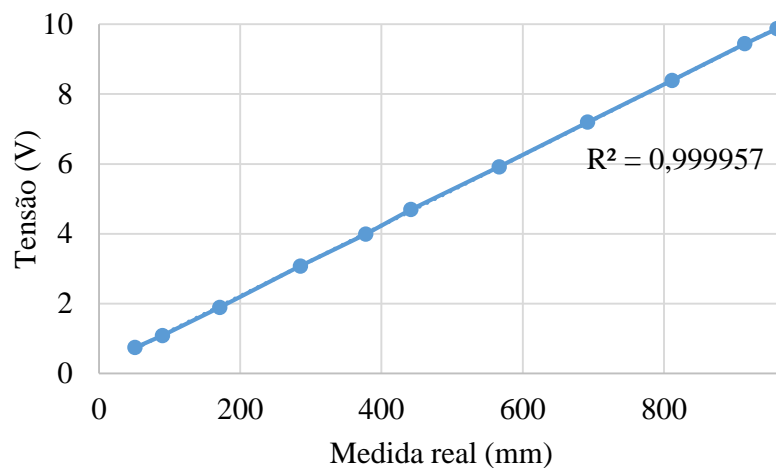


Gráfico 3.2 - Curva de calibração do *encoder* (NI MAX).

3.2 Calibração da célula de carga

Com vista a obter corretamente os sinais de saída da célula de carga, realizou-se uma calibração. Para calibrar utilizou-se uma máquina de ensaios universal Shimadzu AGS-X de 10 kN presente no DEM.

O procedimento de calibração consistiu na colocação da célula na mesa da máquina de ensaios e foram aplicadas quatro cargas de compressão enquanto se liam os valores correspondentes no *software* LabVIEW (Figura 3.2).



Figura 3.2 – Calibração da célula de 5 kN na Shimadzu AGS-X.

Inicialmente foi aplicada à célula de carga de 5 kN uma carga de aproximadamente 1024 N, e retirou-se o valor correspondente no *software* de aquisição de dados. Após esta medição aumentou-se gradualmente a força da máquina de ensaios, sendo o intervalo entre valores medidos de cerca de 1000 N, retirando-se os valores correspondentes no *software*.

A partir dos dados recolhidos foi traçada posteriormente a curva de calibração de cada célula.

A curva obtida para a célula de carga é descrita pela equação 2 e pelo Gráfico 3.3.

$$F_{lida} = 1.0076 \times F_{real} - 44.709 \quad (2)$$

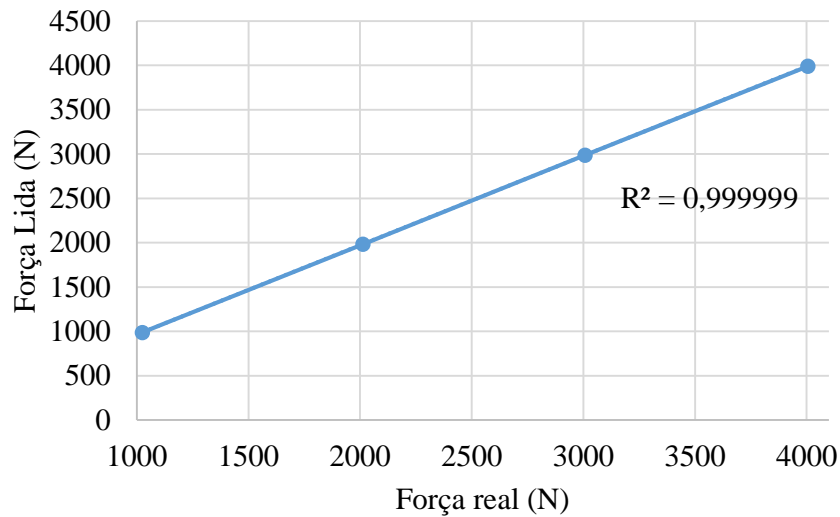


Gráfico 3.3 – Curva de calibração da célula de carga.

O coeficiente de correlação obtido foi perfeito, desta forma pode-se afirmar que a calibração está correta. Os valores obtidos através da calibração foram inseridos na aplicação LabVIEW utilizada, de modo a que o ficheiro de dados gerado apresentasse já os valores da força medida.

No NI MAX foi inserido na configuração criada para a MEI uma escala com os valores obtidos anteriormente no software LabVIEW permitindo uma leitura da célula aproximada à realidade.

3.3 Preparação das amostras a testar

As amostras foram montadas de acordo com o esquema da Figura 2.25, e posteriormente foram marcados os pontos, onde serão posteriormente executados os ensaios de impacto, com uma caneta de tinta permanente na alcatifa com as medidas de acordo com as diretivas da norma [5]. Posteriormente colocou-se a amostra por baixo da MEI, com o primeiro ponto a testar centrado com o impactor. Existiam agora condições para executar os ensaios pretendidos.

3.4 Ensaios de impacto nos praticáveis de ginástica artística

Após o ponto 1 da amostra estar centrado com o impactor, desceu-se o impactor até a sua face inferior estar em contacto com a superfície da alcatifa e ativou-se o Catman 4.5 de forma a recolher dados do plano de referência para o referido ponto. A taxa de aquisição utilizada foi de 1600 Hz pois segundo [7], esta é a gama de frequência em que o *software* registou melhor definição nos dados retirados. Foi ainda utilizado o filtro Butterworth com um *cut-off* de 20Hz. Após retirados os dados referentes ao plano de referência elevou-se o impactor até uma posição 800 mm acima do referido plano.

Nesta fase ativou-se a aquisição de dados nos dois *softwares* (Catman 4.5 e LabVIEW) e puxou-se o fio que se encontra preso à patilha do mecanismo de libertação do impactor. Após isto elevou-se o impactor outra vez até a posição dos 800 mm e esperou-se 120 s até realizar o ensaio seguinte.

Realizaram-se os passos anteriores nos dezoito pontos definidos pela norma [5] sendo feitos dez ensaios em cada ponto perfazendo um total de cento e oitenta ensaios para o piso com colchão de quatro camadas. Para o colchão de cinco camadas foram apenas feitos ensaios em quatro pontos considerados críticos, isto é, após analisados os ensaios para os colchões de quatro camadas verificou-se que existiam pontos que alteravam em grande escala a média final para os parâmetros de força, ressalto e deflexão. Outras das razões foi a existência de trabalhos já realizados [7], [8] onde se verificou que o colchão de cinco camadas apresentava piores resultados que o de quatro, não havendo assim necessidade de despender tempo no resto dos ensaios.

Os ficheiros recolhidos estão em formato do Microsoft Office Excel, utilizando-se posteriormente este *software* para tratamento dos dados experimentais.

3.5 Modelo matemático para cálculo da força

Sendo a força exercida no colchão um dos parâmetros a ter em conta na análise dos ensaios, segundo a Norma [5], foi necessário dispor de alguns métodos para obtenção desses valores. Os métodos possíveis seriam:

- a colocação de uma célula de carga no impactor;
- a colocação de um acelerómetro na torre de queda e através da segunda lei de Newton simplificada (equação 3 – F é a força, m a massa e a a aceleração) obter a força de impacto tendo em conta o peso do sistema;
- e existe ainda uma outra hipótese que seria o cálculo da força a partir dos valores derivados do *encoder* de fio (posição em função de tempo).

$$F = m \times a \quad (\text{N}) \quad (3)$$

Para que seja possível o cálculo da força a partir dos valores lidos no *encoder* é necessário recorrer à segunda derivada da equação de posição em função do tempo (equação 4 – s é a posição e t o tempo) para assim se obter a curva de aceleração em função do tempo e a partir da equação 3 chegar ao valor da força.

$$a = \frac{\partial^2 s}{\partial^2 t} \quad (\text{m/s}^2) \quad (4)$$

Foi usada a primeira hipótese (uso de uma célula de carga no impactor) para a obtenção da força diretamente. Desta forma, se o sistema for o ideal como mostra a Figura 3.3, o valor da força máxima obtida no *software* de aquisição de dados da célula de carga seria igual ao valor calculado analiticamente pela terceira hipótese que consiste na obtenção da força a partir do gráfico de deslocamento em função do tempo.

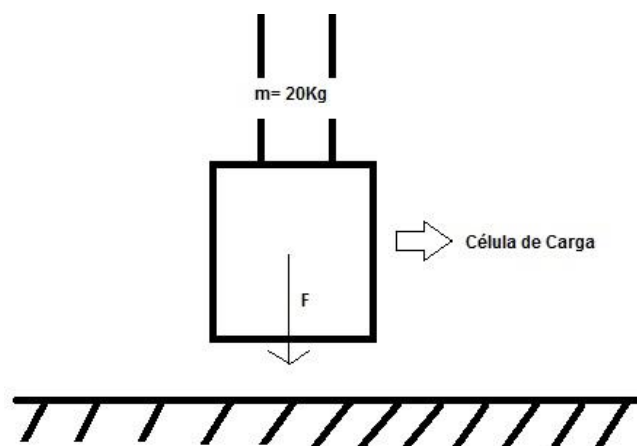


Figura 3.3 – Esquema teórico ideal para uso de célula de carga.

No entanto, a realidade mostra que o impactor não é assim tão simples como apresentado na Figura 3.3. De facto, uma análise mais cuidada (Figura 3.4) permite suspeitar que o peso situado por baixo da célula de carga poderá introduzir um erro nos valores obtidos. Nessa altura pensou-se que a célula de carga não conseguiria obter a força total máxima pois esta só leria os valores de força provocada pela massa 1 (massa que está em cima da célula).

Para fazer esta averiguação foram criadas duas massas (m_1 e m_2) distintas das utilizadas na configuração até aqui usada, cujos valores se pretende serem de tal forma que, mantendo o peso total do conjunto impactor aproximadamente igual aos 20 kg, tivéssemos uma massa de valor significativo por baixo da célula de carga. Os valores das massas usadas nas configurações inicial e nesta nova são apresentados na Tabela 3.1. Os desenhos de definição das peças encontram-se no Anexo E.

Tabela 3.1 – Massa das duas configurações.

	Massa m_1 (kg)	Massa m_2 (kg)	Massa da célula de carga (kg)	Massa total do conjunto impactor (kg)
Massa na configuração com o peso maior em cima da célula	5,572	0,418	0,410	20,2
Massa para configuração com o peso maior em baixo da célula	1,588	4,352	0,410	20,15

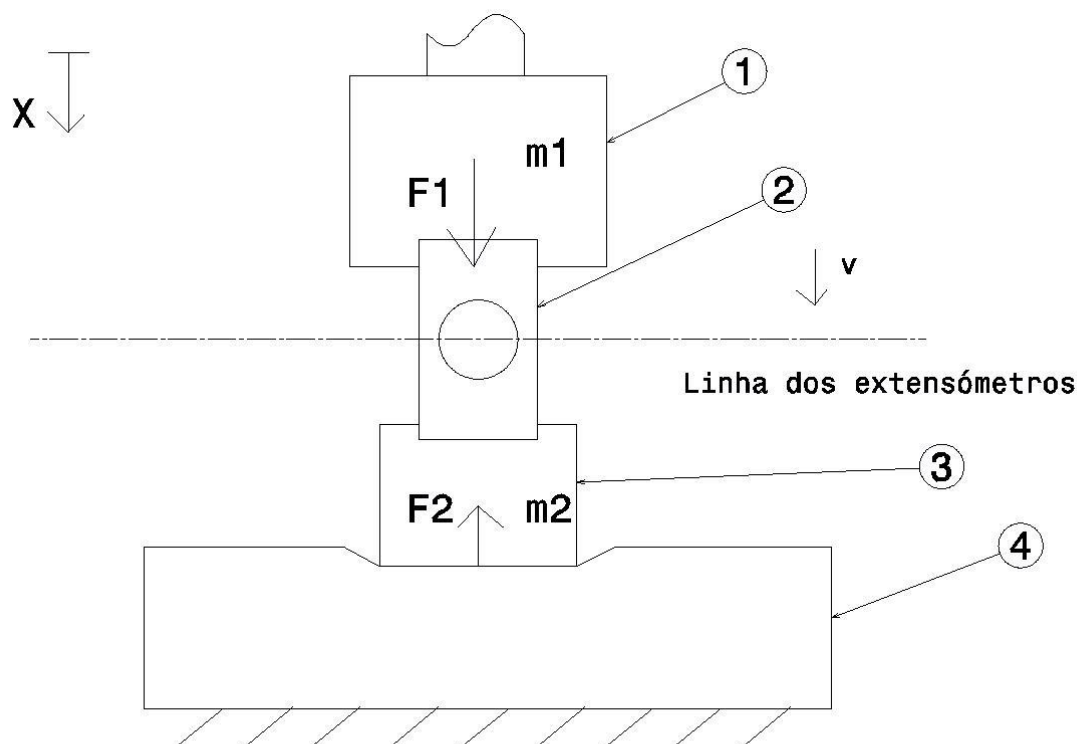


Figura 3.4 – Ilustração do sistema real de ensaios de impacto: (1) Peso superior à célula de carga; (2) Célula de carga; (3) Disco inferior à célula de carga; (4) amostra de piso de ginástica artística deformado durante o impacto.

Para provar a teoria anteriormente descrita foram realizados dez ensaios num ponto aleatório com cada uma das configurações de impactor, e foram realizados já com as alterações na MEI concluídas, ou seja, os dados já foram adquiridos no *software* NI MAX com uma taxa de aquisição de 25000 Hz. Como o tratamento de dados foi posteriormente executado no Microsoft Office Excel e os valores retirados do NI MAX, apresentam unidades que o primeiro *software* não reconhece houve necessidade de utilizar uma macro, presente no Anexo F para converter os valores de força que estavam na ordem dos milhares, das milésimas e do micron.

Inicialmente seguiu-se a teoria apresentada em [8] que consiste em retirar os valores da curva de deslocamento, obtida a partir dos dados retirados do NI MAX, na zona de impacto, ou seja os valores próximos do primeiro pico negativo do gráfico. Com os valores retirados foi feita uma aproximação polinomial de grau 4 da curva, no *software* Microsoft Office Excel, e retirou-se a equação característica desta aproximação. Sobrepôs-se o gráfico real e o obtido a partir da equação para garantir que a curva era idêntica. Após isto, derivou-se a equação do deslocamento

para obter a velocidade e posteriormente derivou-se esta para obter os valores de aceleração. Seguiu-se o procedimento anteriormente referido para alguns ensaios e verificou-se que os resultados deste método não eram os esperados obtendo-se valores da aceleração bastantes baixos o que levava a obtenção de uma força inferior à retirada da célula de carga.

Pensou-se então que seria necessário utilizar um filtro para retirar os pontos de ruído pois o *software* NI MAX não dispõe desta funcionalidade. O ruído eletrónico encobre os verdadeiros valores, tornando os resultados não conclusivos. Utilizou-se então um filtro Butterworth [19], para o Microsoft Office Excel, cujo manual se encontra no Anexo G. Este filtro é executado sobre a forma de macro e devolve os valores de deslocamento filtrados. Através destes valores o filtro tem a possibilidade de obter a 1ª e 2ª derivada, da curva previamente filtrada que correspondem à velocidade e aceleração.

Capítulo 4

4. Resultados e discussão

Neste capítulo serão apresentados todos os resultados experimentais referentes aos pisos de ginástica artística com colchões poliméricos de quatro e cinco camadas, bem como os valores obtidos com o modelo matemático no cálculo da força a partir do deslocamento.

4.1 Resultados para o piso com colchão de quatro camadas

O Gráfico 4.1 e o Gráfico 4.2 mostram os resultados de um dos cento e oitenta ensaios de impacto realizados no praticável de ginástica artística com um colchão de espuma polimérica de quatro camadas para dados da célula de carga e *encoder*, respetivamente. Encontram-se no Anexo H um exemplo dos gráficos, quer de força quer de deslocamento, relativos a cada um dos dezoito pontos testados.

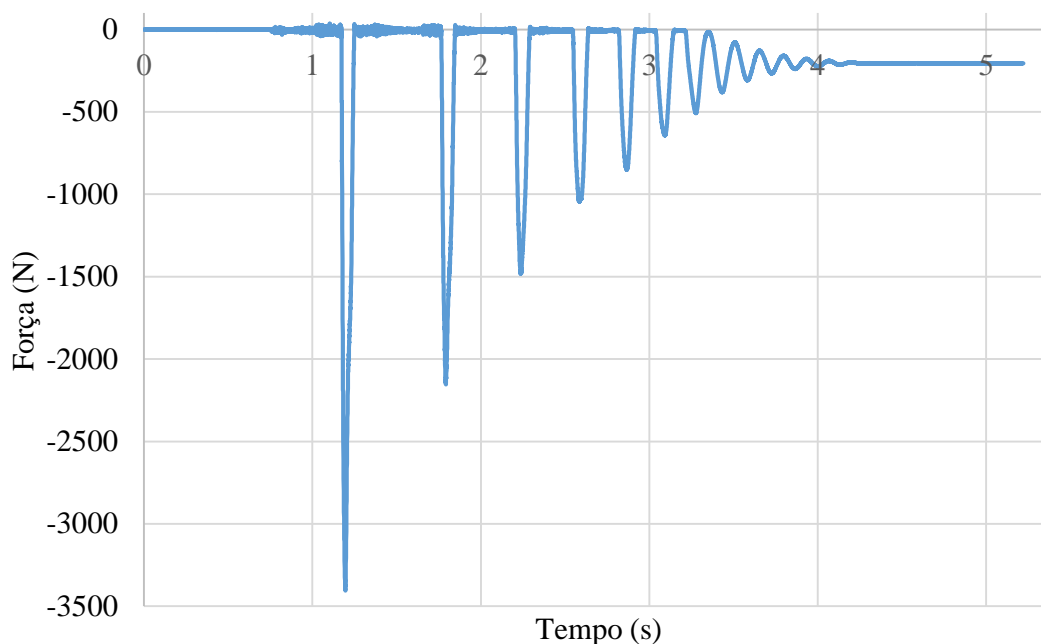


Gráfico 4.1 – Força obtida pela célula de carga.

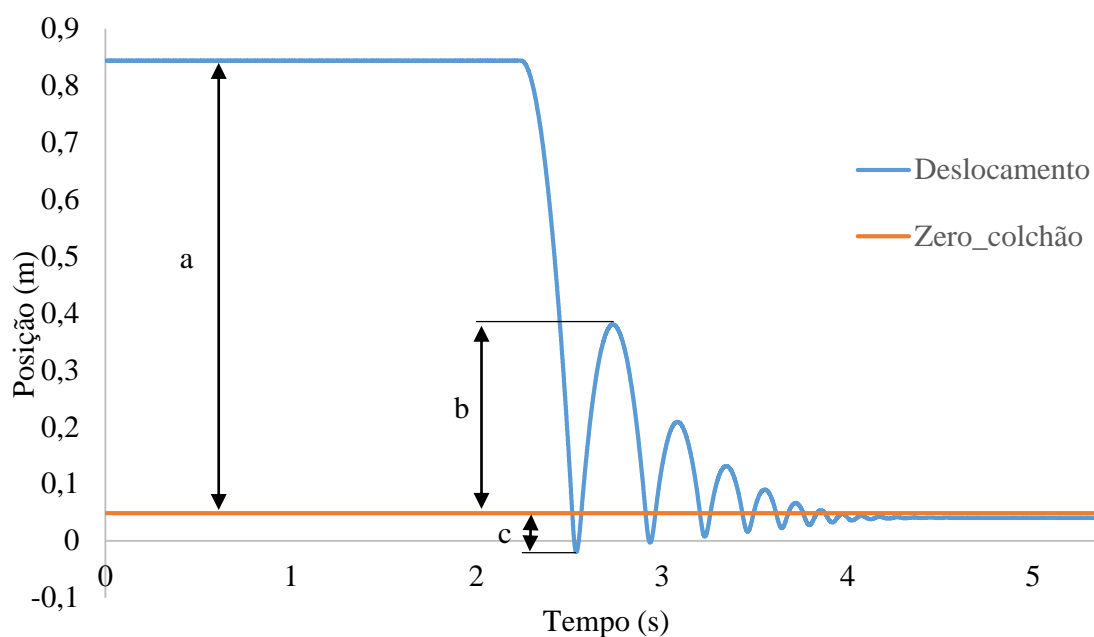


Gráfico 4.2 – Deslocamento obtido pelo *encoder*: (a) altura de queda; (b) ressalto; (c) deflexão.

Uma ampliação do Gráfico 4.2 mostra que, aparentemente, a taxa de aquisição usada, cujo valor foi 1600 Hz, é suficiente para captar os pontos de ressalto e deflexão máxima.

Após serem tratados todos os dados referentes ao praticável de ginástica artística com um colchão de espuma polimérica de quatro camadas obtiveram-se os valores de ressalto, deflexão e força presentes na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resultados obtidos para o piso com colchão de espuma polimérica de quatro camadas.

	Força (N)	Ressalto (mm)	Deflexão (mm)
Ponto 1	-3669,22	254,61	95,26
Ponto 2	-3470,55	281,55	75,65
Ponto 3	-3061,33	319,52	77,25
Ponto 4	-3143,66	317,03	72,43
Ponto 5	-1233,05	350,41	71,82
Ponto 6	-2816,58	282,71	86,10
Ponto 7	-2784,80	260,41	76,51
Ponto 8	-2870,83	315,12	89,15
Ponto 9	-3735,44	305,77	71,42
Ponto 10	-3379,50	305,60	74,73
Ponto 11	-3184,29	319,51	72,77
Ponto 12	-3387,95	341,22	75,07
Ponto 13	-3339,99	250,32	74,54
Ponto 14	-2934,66	308,80	81,29
Ponto 15	-3240,36	366,12	88,88
Ponto 16	-3903,77	262,60	93,93
Ponto 17	-3533,85	277,39	77,29
Ponto 18	-3211,63	375,04	79,55
Média	-3162	305	79

Como se pode verificar os valores de força e ressalto estão de acordo com as diretivas da norma [5], presentes na Tabela 1.1. Em relação à deflexão o valor da média não se encontra de acordo com o definido na norma, tendo 4 mm a mais que o valor definido.

O piso de ginástica artística com colchão de quatro camadas não se encontra dentro da norma [5].

4.2 Resultados para piso com colchão de cinco camadas

No piso de ginástica artística com um colchão de espuma polimérica de cinco camadas só foram testados quatro pontos, cujos resultados estão presentes na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados dos quatro pontos do piso de ginástica artística com colchão de cinco camadas.

	Força (N)	Ressalto (mm)	Deflexão (mm)
Ponto 4	-2844,19	340,40	76,04
Ponto 12	-2803,71	376,84	79,57
Ponto 13	-3246,37	280,06	78,03
Ponto 14	-2490,11	320,88	85,91

Os valores de deflexão e o ressalto pioraram em relação ao colchão com quatro camadas. Deste modo decidiu-se não continuar os testes neste tipo de geometria.

4.3 Resultados do modelo matemático

Após serem realizados dez ensaios com cada configuração de impactor foram retirados os dados e verificou-se que os valores de força medidos pela célula de carga são bastante distintos entre a configuração do impactor com a o peso maior em cima da célula de carga e com o peso maior por baixo da célula de carga (Gráfico 4.3). Os dados foram obtidos com as duas cartas da National Instruments e respetivo *software* NI Max, à taxa de aquisição de 25 kHz.

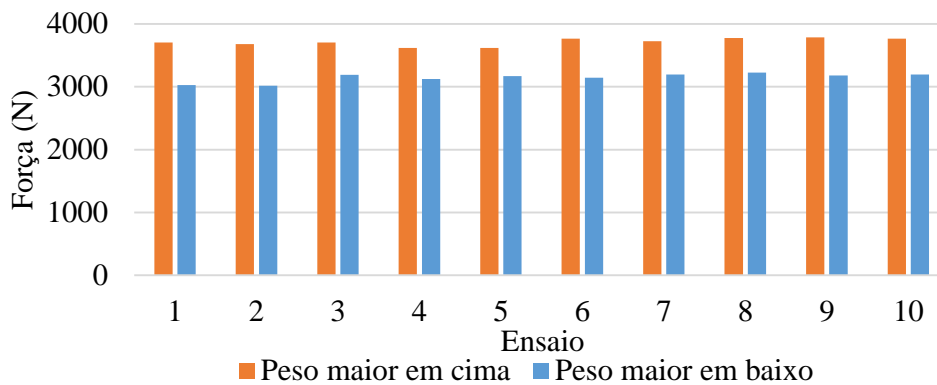


Gráfico 4.3 – Comparação de valores de força obtidos pela célula de carga para os dois tipos de configuração do impactor.

A Tabela 4.3 apresenta a média das forças medidas e respetivo desvio padrão obtidos pelos dois tipos de configuração.

Tabela 4.3 – Média de força medida com a célula de carga das duas configurações.

	Peso maior por cima	Peso maior por baixo
Média	3714,6 N	3151,6 N
Desvio padrão	62,3 N	70,3 N

É notório que quanto maior for o peso por baixo da célula menor é a força lida pelo sensor.

Este resultado é de extrema importância pois indica que é impossível obter diretamente um resultado de leitura de força de impacto através da célula de carga. O peso da célula, ou pelo menos o peso da sua metade inferior aos extensómetros que fazem a leitura do sinal, bem como a massa colocada por baixo da célula, influenciam o valor real da força de impacto.

Nesta altura julgou-se prudente encontrar um meio alternativo à leitura direta da carga para que se pudessem comparar valores e daí tentar extrair o real valor da força de impacto.

Não considerando o acelerómetro que já havia sido testado em trabalho anterior [8] e sobre o qual havia sido dado o veredicto de “pouco fiável” pois de facto verificou-se que as dispersões dos valores de aceleração obtidos eram superiores a 20 %, optou-se pela derivação da aceleração a partir do deslocamento. A motivação era muito simples: as medidas do deslocamento já existiam; não havia necessidade de alterar a máquina.

Inicialmente foram tratados alguns dados a partir do processo sugerido no trabalho [8] e já referido no capítulo anterior. Os Gráfico 4.4, Gráfico 4.5 e Gráfico 4.6 mostram os resultados do primeiro ensaio com o peso maior por cima através da aproximação polinomial de grau 4 para o deslocamento, a velocidade e a aceleração respetivamente. Pela análise destes gráficos podemos ver que os valores de aceleração máxima estão na ordem dos 140 m/s^2 o que daria uma força de aproximadamente 2700 N muito inferior aos 3700 N lidos pela célula de carga. Desta forma conclui-se que o método anteriormente referido não é completamente fiável, pois da aproximação tiram-se valores de força inferiores aos dados pela célula de carga o que seria fisicamente impossível. Foram tratados quatro ensaios com este método tendo-se obtido valores de carga sempre inferiores aos esperados.

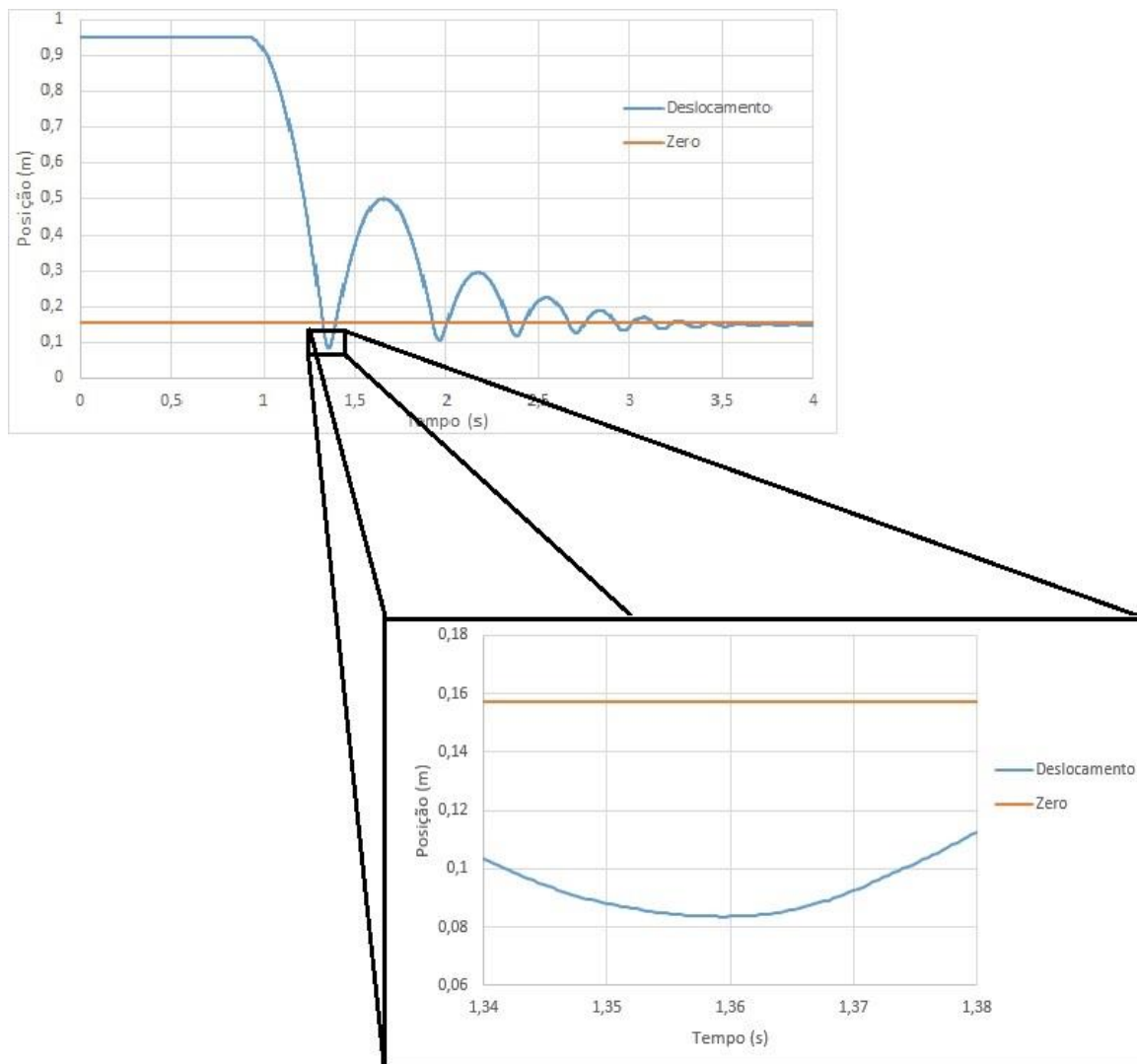


Gráfico 4.4 – Ampliação e aproximação polinomial de grau 4 para o deslocamento.

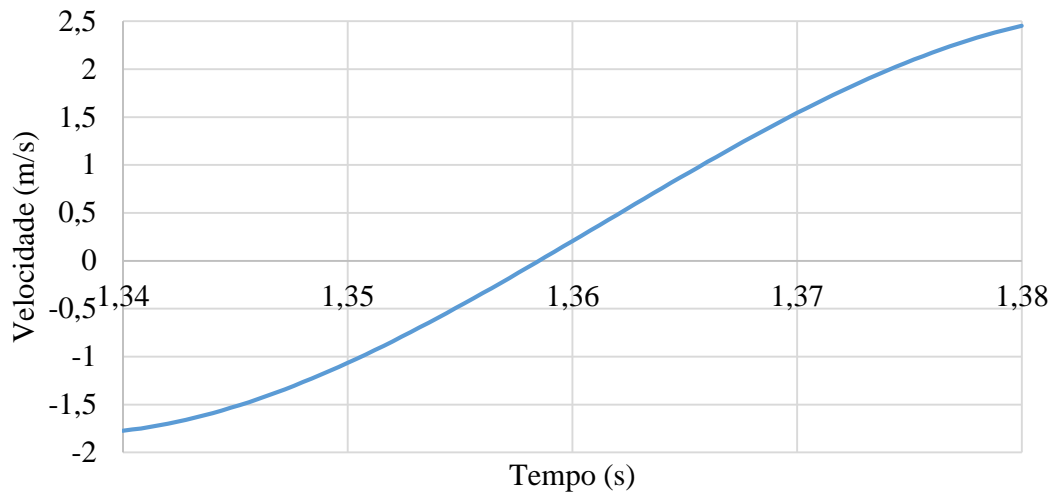


Gráfico 4.5 – Aproximação polinomial da velocidade.

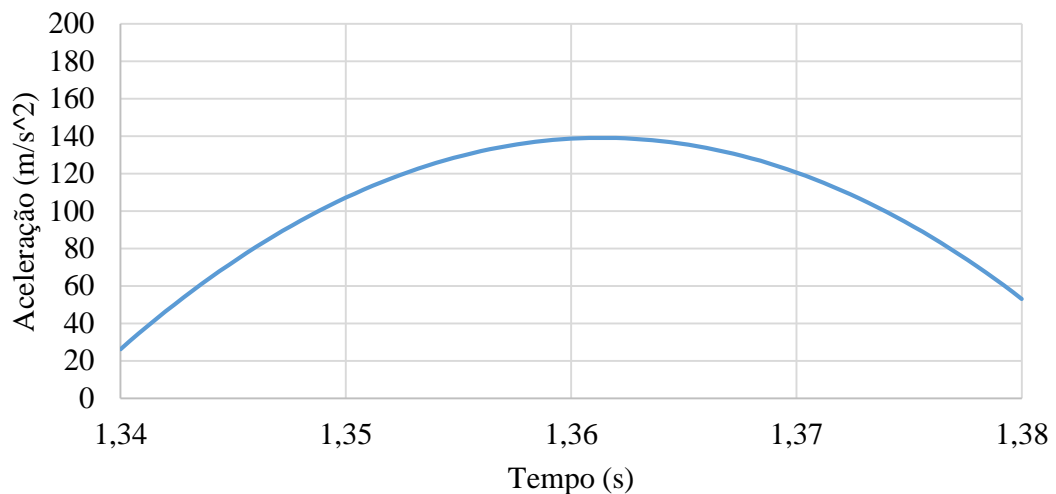


Gráfico 4.6 – Aproximação polinomial da aceleração.

Após verificar que o método para o cálculo de força com uma aproximação polinomial de grau 4 no Microsoft Office Excel não dava bons resultados, utilizou-se um filtro Butterworth também neste *software*. Inicialmente foram feitos testes para verificar qual o melhor *cut-off* do filtro Butterworth. Como tal foram verificados os gráficos de deslocamento (Gráfico 4.7), velocidade (Gráfico 4.8) e aceleração (Gráfico 4.9) filtrados para um ensaio. Nesta verificação utilizaram-se *cut-off* de 50, 80, 100 e 200 Hz. O ensaio escolhido para esta comparação foi o primeiro do peso maior por cima.

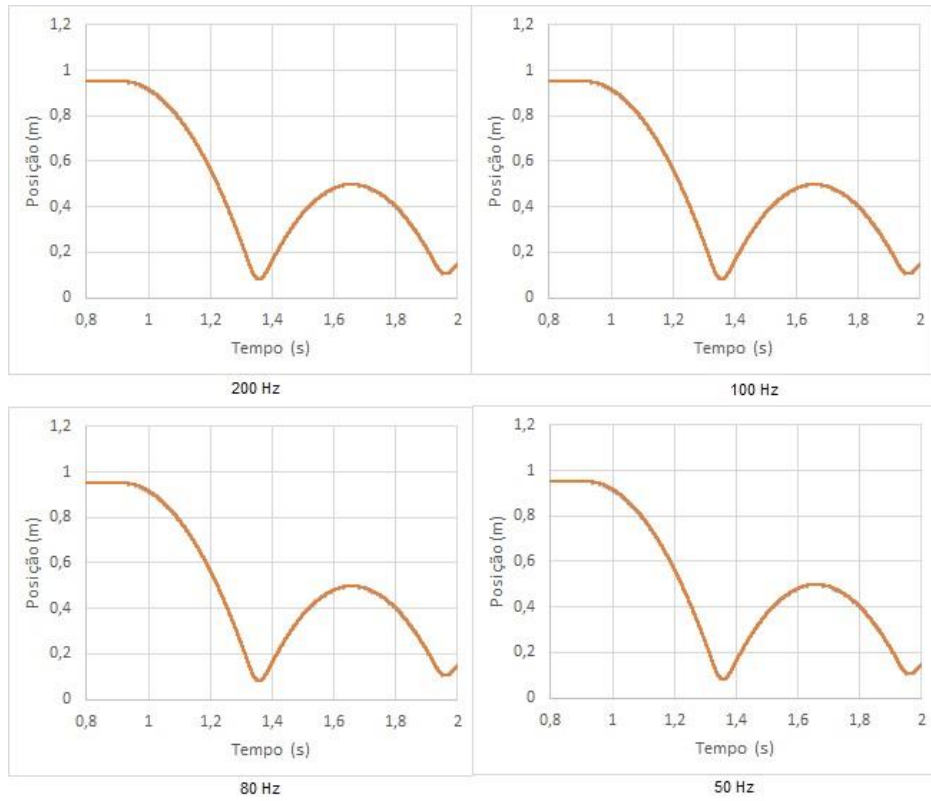


Gráfico 4.7 – Curvas de posição para 200, 100, 80, 50 Hz de *cut-off*.

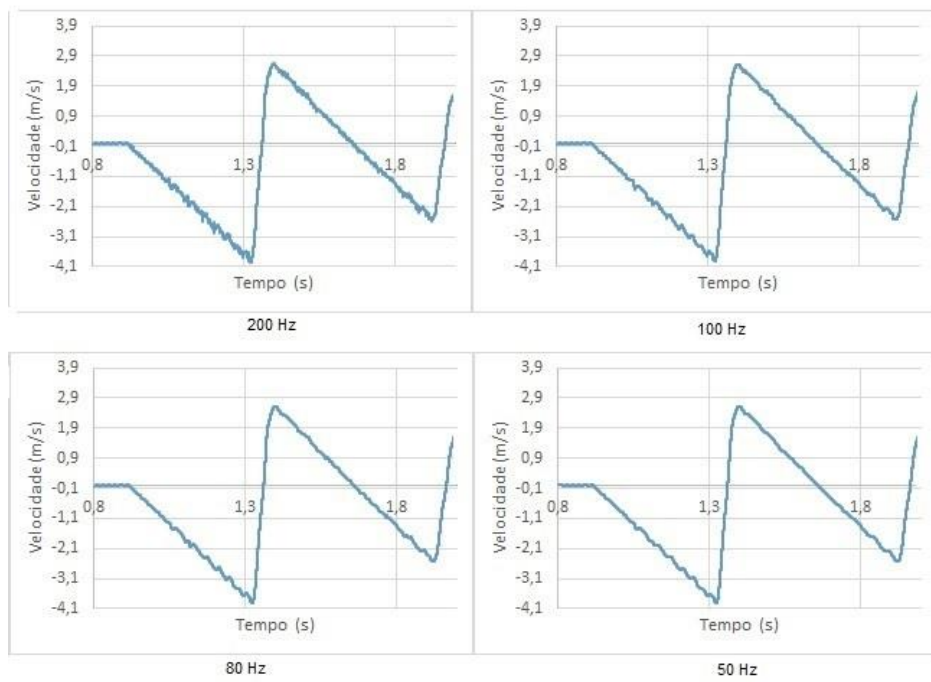


Gráfico 4.8 - Curvas de velocidade para 200, 100, 80, 50 Hz de *cut-off*.

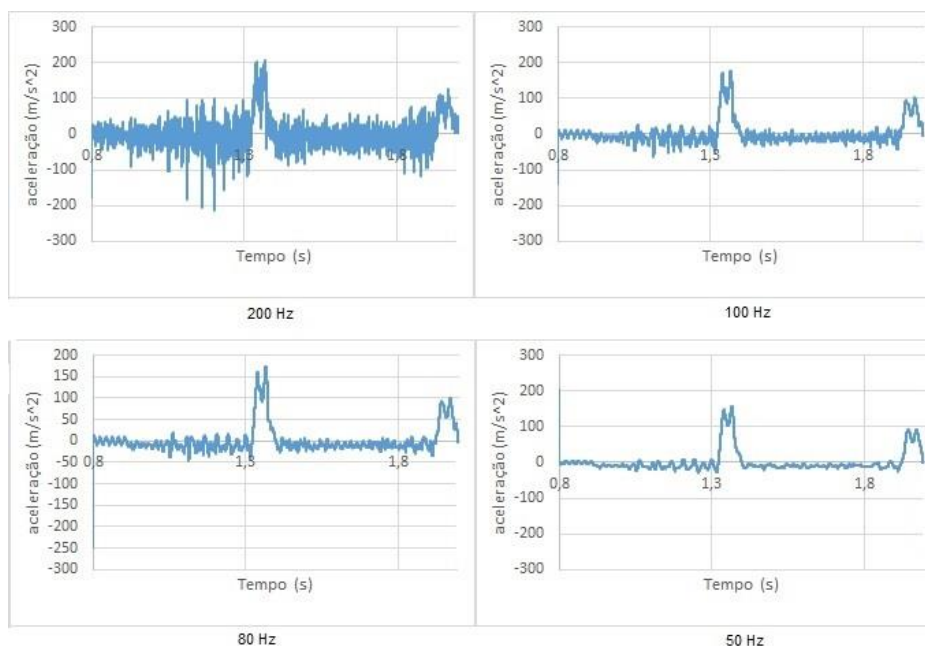


Gráfico 4.9 - Curvas de aceleração para 200, 100, 80, 50 Hz de *cut-off*.

Para testar a fiabilidade do filtro Butterworth foram analisados os valores de aceleração em repouso, em queda e a velocidade máxima do ensaio para os vinte ensaios – dez com peso maior em cima da célula e outros dez com o peso maior por baixo (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Média de velocidade máxima, aceleração em repouso e aceleração em queda para os vinte ensaios.

<i>Cut-off</i>	Velocidade máxima (m/s)	Aceleração em repouso (m/s ²)	Aceleração em queda (m/s ²)
50 Hz	3,50	0,05	9,7
80 Hz	3,93	0,06	9,8
100 Hz	4,01	0,1	10
200 Hz	4,08	0,12	10,6

A Tabela 4.4 mostra que o *cut-off* de 80 Hz conduziu aos valores mais realistas em todos os campos. De facto, eram esperados velocidade = 3,96 m/s, aceleração em repouso = 0 m/s² e aceleração em queda livre = 9,81 m/s².

O Gráfico 4.10 apresenta os resultados dos vinte ensaios tratados com o filtro Butterworth e com *cut-off* de 80 Hz. A força foi calculada através da 2ª Lei de Newton, expressão (3), na qual foi adicionada a aceleração da gravidade à aceleração máxima. De facto, a aceleração em queda livre é negativa, com valor -9,8 (ver Gráfico 4.9) e durante o impacto atinge um máximo positivo. Assim, a expressão (3) é redefinida como:

$$F = m \times (a_{max} + g) \quad (5)$$

Onde g é a aceleração da gravidade e toma o valor de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$.

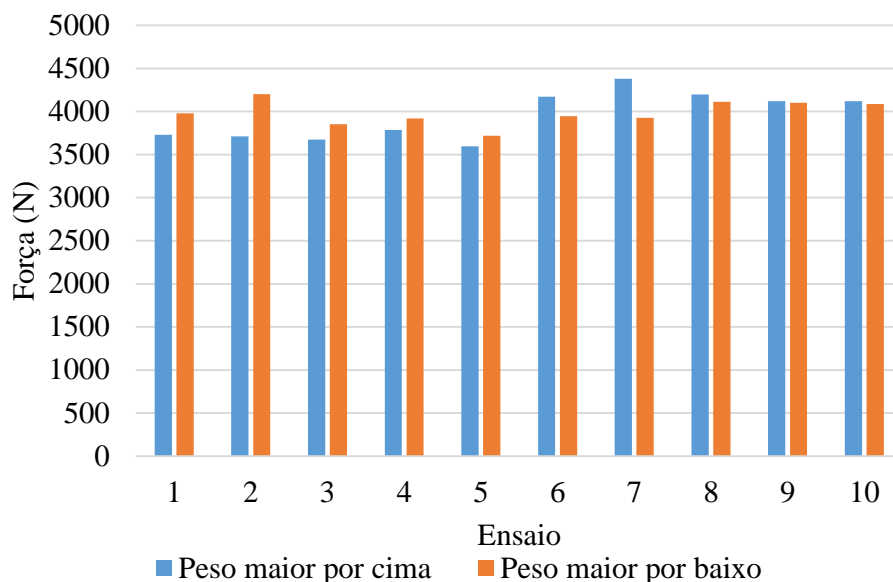


Gráfico 4.10 – Força com modelo matemático (Butterworth, 80 Hz).

Naturalmente, eram esperados valores de força semelhantes para as duas configurações pois os pesos tinham o mesmo valor de massa total.

A suposição revelou-se verdadeira pois é natural que haja alguma dispersão nos resultados.

A Tabela 4.5 apresenta os valores médios dos resultados apresentados no Gráfico 4.10. Foi ainda calculado uma média total dos vinte ensaios para usar como valor de referência no cálculo do erro existente na medição por parte da célula quando é colocado um peso por baixo desta.

Tabela 4.5 – Média de força das duas configurações através do modelo matemático com filtro Butterworth com *cut-off* de 80 Hz.

	Peso maior cima	Peso maior baixo	Todos
Média	3948,67 N	3993,78 N	3972,30 N
Desvio padrão	276,75 N	139,81 N	211,59 N

O Gráfico 4.11 faz uma comparação final entre as configurações do impacto quer para a medição de força com célula de carga quer para o cálculo a partir do modelo matemático. Conforme esperado, os resultados médios obtidos com o modelo matemático são semelhantes (PMB modelo matemático = PMC modelo matemático), indicando uma boa qualidade do filtro Butterworth.

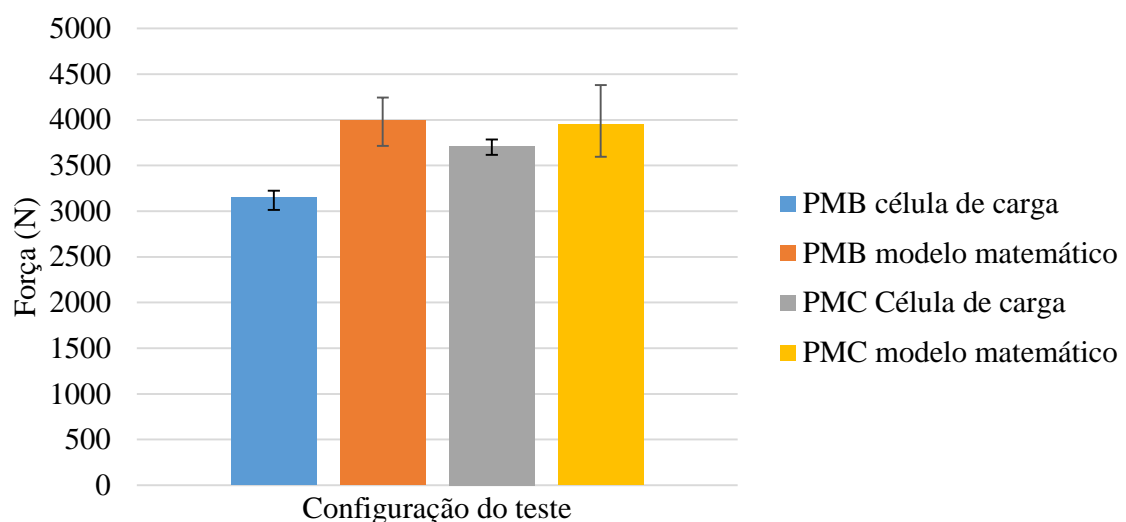


Gráfico 4.11 – Comparação das configurações dos testes e da forma de obtenção – valores de força obtida e respectivos, máximo e mínimo. PMB significa peso maior por baixo; PMC significa peso maior por cima.

Após a análise de todos os dados foi possível calcular o erro médio (Tabela 4.6) associado à existência de um peso por baixo da célula na medição de força para cada uma das configurações.

O erro foi calculado a partir da equação 6.

$$\% \text{ Erro} = \frac{MFVM - MFC}{MFVM} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

MFVM – Média da força dos vinte ensaios calculada pelo modelo matemático.

MFC – Média da força obtida pela célula para cada configuração de impactor.

Tabela 4.6 – Erro relativo à massa que está por baixo da célula de carga

	Peso maior por cima	Peso maior por baixo
Massa inferior à célula	0,418 kg	4,353 kg
Erro	6,5%	20,7%

A relação do peso colocado por baixo da célula de carga com o peso total do impactor (aproximadamente 20 kg), é apresentada na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Relação do peso colocado por baixo da célula com o peso total do impactor.

	Peso maior por cima	Peso maior por baixo
Massa inferior à célula	0,418 kg	4,353 kg
Relação m/20	4%	23,5%

Nos cálculos efetuados foi intencionalmente acrescido ao peso colocado por baixo da célula o valor do peso de metade da célula de carga, assumindo que os extensómetros estão no centro desta.

Era de esperar que os valores da relação m/20 fossem iguais ou muito semelhante aos erros indicados na Tabela 4.6, suposição que também se confirmou. Naturalmente seria importante realizar mais testes com outros pesos para averiguar a validade desta conclusão e aferir se a relação é linear e 1:1.

Capítulo 5

5. Conclusões e trabalhos futuros

Foram executados ensaios de impacto em praticáveis de ginástica artística concluindo-se, para os pisos com colchão de quatro camadas de material polimérico, que o ressalto e a força de impacto se encontram de acordo com as diretivas da norma [5], no entanto o afundamento é maior que o permitido por esta norma, desta forma o praticável não é passível de homologação.

Foram feitas diversas modificações na MEI, no sentido de melhorar a sua operacionalidade, nomeadamente, foi criado um sistema de posicionamento automático do impactor, um sistema de impactor para ensaios em pisos de ginástica rítmica e foi alterado o *hardware* e *software* de aquisição de deslocamento e força. O sistema de posicionamento funciona de acordo com as expectativas tendo um erro relativamente baixo, cerca de 1,3 mm, na paragem do sistema de impactor. O sistema de impactor para ensaios em praticáveis de ginástica rítmica em termos de geometria e massa encontra-se de acordo com a norma [6]. Por fim o novo sistema de aquisição de dados trouxe vantagens aquando da análise de dados, sendo possível analisar deslocamento e força com a mesma escala temporal, e na realização de ensaios tendo atualmente o operador apenas de atuar um *software*.

O modelo matemático estudado permitiu concluir que é possível obter o valor de força de impacto a partir do deslocamento medido pelo *encoder*. Assim a célula de carga deixa de ser um elemento imprescindível no sistema de impactor.

Naturalmente este não é um trabalho terminado. Será interessante, por exemplo, a título de trabalhos futuros:

- Alterar a geometria e/ou materiais/componentes do praticável de ginástica artística no sentido de o tornar passível de homologação pela FIG;
- A norma [5], foi alterada no decorrer deste trabalho, desta forma é necessário realizar ensaios segundo as novas diretivas.

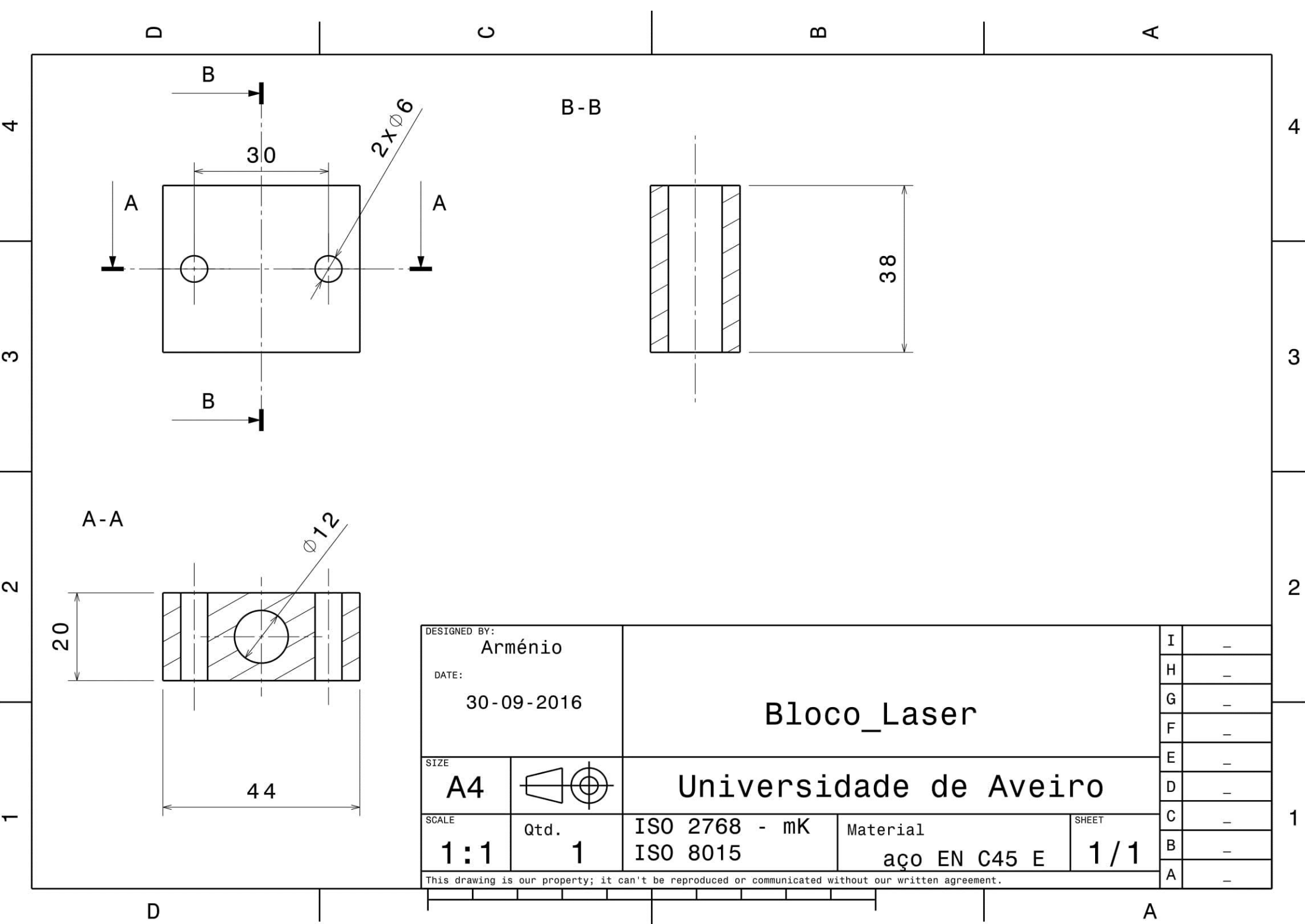
6. Referências

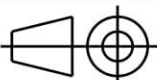
- [1] F. M. SILVA e outros, “Revista Portuguesa de Ciências do Desporto” *Desporto de Crianças e Jovens - um estudo sobre as idades de iniciação*. Porto, pp. 45–55, 2001.
- [2] “Fédération Internationale de Gymnastique.” [Online]. Disponível: <http://www.fig-gymnastics.com/site/about/federation/history>. [Acedido: 08-08-2016].
- [3] M. Jesus e E. Nunes, “Federação Portuguesa de Ginástica. Boletim Informativo nº23” 2014.
- [4] “Federação de Ginástica de Portugal” *Manuais Técnicos 2015/2016*. [Online]. Disponível: http://www.fgp-ginastica.pt/_usr/downloads/MANUAIS_TECNICOS_2015_2016.pdf. [Acedido: 08-08-2016].
- [5] “FIG MAG 1” *Stand Specif Floors Men Artist Gymnast*, 2016.
- [6] “FIG RG 1” *Stand Specif Rhythm Gymnast Floors*, 2016.
- [7] F. Pereira, “Construção e Teste de Praticável de Ginástica Artística e Rítmica.” Universidade de Aveiro, 2016.
- [8] J. A. R. Julião, “Caracterização de praticáveis de ginástica artística.” Universidade de Aveiro, 2016.
- [9] CIMM, “Ensaio de impacto e as suas máquinas.” [Online]. Disponível: http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7271-ensaio-de-impacto-e-suas-maquinas. [Acedido: 11-08-2016].
- [10] D. Dias, “Comportamento ao Impacto a baixa velocidade de laminados de epóxico / fibra de vidro, com camadas de cortiça.” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [11] Zwick/Roel. Drop-Weight testers, “HIT230F drop weight tester.” [Online]. Disponível: <http://www.zwick.com/en/products/products-for-impact-testing/drop-weight-testers/230-joule-drop-weight-tester.html>. [Acedido: 15-08-2016].
- [12] W. Morais, R. A. De, and A. J., “Efeito de Impactos Repetidos de Baixa Energia em Compósitos Pultrudados.” 2001.
- [13] “Abratools s.a abrasives and machinery.” [Online]. Disponível: <http://www.abratools.es/CABLE-HOIST-PBF-100>. [Acedido: 24-10-2016].
- [14] Roundss, “Draw Wire Encoder Manual.” 2015. [Online]. Disponível: http://www.roundssencoder.com/pro_dr.asp. [Acedido: 24-10-2016].
- [15] HBM, “PC measurement electronics Spider8, Siper 8-30 and Spider8-01 Operating Manual,Im Tiefen See Darmstadt.” 2004.

- [16] J. P. M. Maio, “Projeto e construção de máquina de ensaios biaxiais.” Universidade de Aveiro, 2014.
- [17] “RS Components, componentes eletrônicos e elétricos.” [Online]. Disponível: <http://pt.rs-online.com/web/p/products/3899780/>. [Acedido: 25-10-2016].
- [18] National Instruments, “NI USB-9215 Series User Guide and Specifications.” [Online]. Disponível: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371568e.pdf>. [Acedido: 26-10-2016].
- [19] K. S. Erer, “Adaptive usage of the Butterworth digital filter” *J. Biomech.*, vol. 40, no. 13, pp. 2934–2943, 2007.

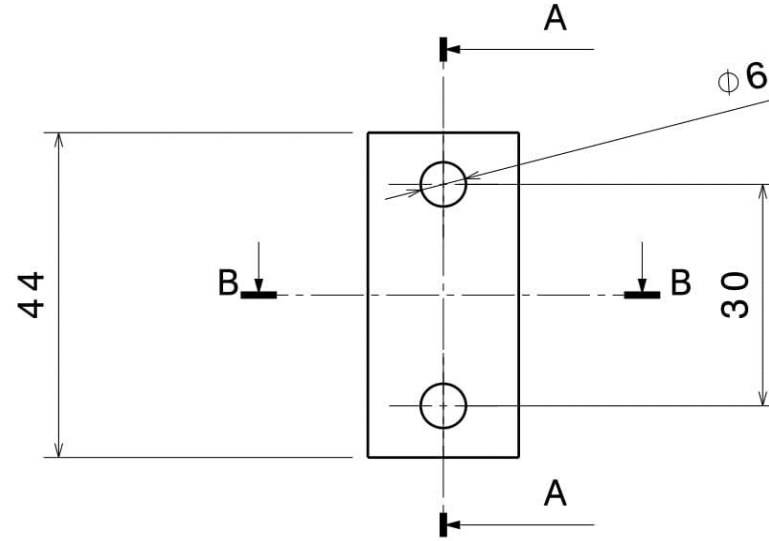
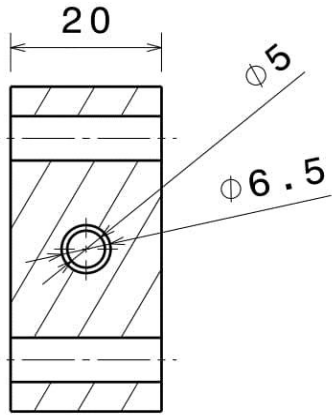
Anexo A

Desenhos de definição das peças fabricadas para o sistema de paragem automática do guincho.

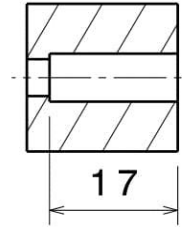


DESIGNED BY: Arménio		Bloco_Laser		I	-
DATE: 30-09-2016				H	-
SIZE A4		Universidade de Aveiro		G	-
				F	-
SCALE 1:1	Qty. 1	ISO 2768 - mK	Material aço EN C45 E	E	-
		ISO 8015	SHEET 1/1	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-

A-A



B-B



DESIGNED BY: Arménio		Bloco_Fototransistor			I	-
DATE: 30-09-2016					H	-
SIZE A4		Universidade de Aveiro			G	-
SCALE 1:1					E	-
Qtd. 1	ISO 2768 - mK	Material aço EN C45 E	SHEET 1/1	D	-	
ISO 8015				C	-	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				B	-	
				A	-	

D

A

Anexo B

Esquema do sistema elétrico

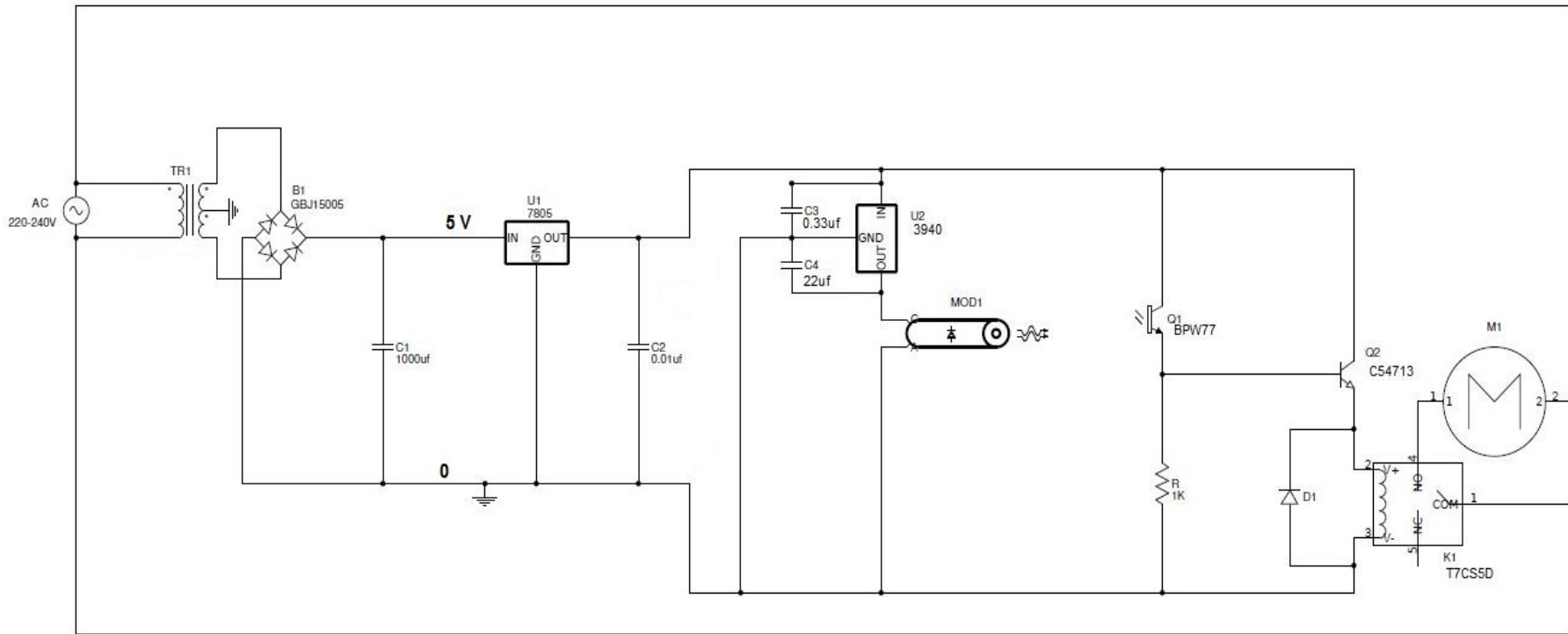


Figura B.0.1 – Esquema elétrico: (C1, C2, C3, C4) - condensadores; (TR1) – transformador; (B1) ponte retificadora; (U1, U2) – limitadores de tensão; (MOD1) – módulo laser verde; (Q1, Q2) – fototransistor e transistor; (D1) – díodo; (R1) - resistência; (K1) – relé; (M1) – motor monofásico.

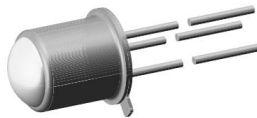
Ficha técnica do fototransistor

BPW77NA, BPW77NB

Vishay Semiconductors



Silicon NPN Phototransistor, RoHS Compliant



94 0401

FEATURES

- Package type: leaded
- Package form: TO-18
- Dimensions (in mm): \varnothing 4.7
- High photo sensitivity
- High radiant sensitivity
- Suitable for visible and near infrared radiation
- Fast response times
- Angle of half sensitivity: $\varphi = \pm 10^\circ$
- Base terminal connected
- Hermetically sealed package
- Lead (Pb)-free component in accordance with RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

DESCRIPTION

BPW77 is a silicon NPN phototransistor with high radiant sensitivity in hermetically sealed TO-18 package with base terminal and glass lens. It is sensitive to visible and near infrared radiation.

APPLICATIONS

- Detector in electronic control and drive circuits

PRODUCT SUMMARY			
COMPONENT	I_{ca} (mA)	φ (deg)	$\lambda_{0.1}$ (nm)
BPW77NA	7.5 to 15	± 10	450 to 1080
BPW77NB	> 10	± 10	450 to 1080

Note

Test condition see table "Basic Characteristics"

ORDERING INFORMATION			
ORDERING CODE	PACKAGING	REMARKS	PACKAGE FORM
BPW77NA	Bulk	MOQ: 1000 pcs, 1000 pcs/bulk	TO-18
BPW77NB	Bulk	MOQ: 1000 pcs, 1000 pcs/bulk	TO-18

Note

MOQ: minimum order quantity

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector base voltage		V_{CBO}	80	V
Collector emitter voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter base voltage		V_{EBO}	5	V
Collector current		I_C	50	mA
Collector peak current	$t_p/T = 0.5, t_p \leq 10$ ms	I_{CM}	100	mA
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25$ °C	P_V	250	mW
Junction temperature		T_J	125	°C
Operating temperature range		T_{amb}	- 40 to + 125	°C
Storage temperature range		T_{stg}	- 40 to + 125	°C
Soldering temperature	$t \leq 5$ s	T_{sd}	260	°C
Thermal resistance junction/ambient	Connected with Cu wire, 0.14 mm ²	R_{thJA}	400	K/W
Thermal resistance junction/gase		R_{thJC}	150	K/W

Note

$T_{amb} = 25$ °C, unless otherwise specified

Ficha técnica do módulo laser

Green Laser Module

1. Specification:

- 1-1 Wavelength 532nm
- 1-2 Output power 5mw(Laser spot)
(Measure under the temperature 25°C±3°C)
- 1-3 Specs. Parameter
Fixed focus, dot shape facula, (facula pattern: TEMOO)
continuous output
- 1-4 Standard Dimension : $\phi 12 \times 66$ mm
- 1-5 Beam Dimension 6 Meter distance Output Laser spot 18mm ± 2.0 mm
- 1-6 Input Power Source DC3.2V
- 1-7 Consumption Current Less than 300mA
- 1-8 Body Brass
- 1-9 Life Time More than 5000hours
- 1-10 Beam of Light Emanative Angle: 1.2mrad
- 1-11 Work material : Nd:YVO4+KTP

2. Environment Condition:

- 2-1 Storage Temperature and Humidity -25°C~70°C / 93~95 Rh
(Storage in 3 weeks)
- 2-2 Operating Temperature and Humidity 0°C~40°C / 20~ 80 Rh
(No Condense)

3. Reliability test:

- 3-1 vibration test: depend on customer
- 3-2 voltage test: 2.8 to 3.2V
- 3-3 temperature test: 0°C to 50°C

Ficha técnica do limitador de tensão



May 1999

LM3940 1A Low Dropout Regulator for 5V to 3.3V Conversion

General Description

The LM3940 is a 1A low dropout regulator designed to provide 3.3V from a 5V supply.

The LM3940 is ideally suited for systems which contain both 5V and 3.3V logic, with prime power provided from a 5V bus. Because the LM3940 is a true low dropout regulator, it can hold its 3.3V output in regulation with input voltages as low as 4.5V.

The TO-220 package of the LM3940 means that in most applications the full 1A of load current can be delivered without using an additional heatsink.

The surface mount TO-263 package uses minimum board space, and gives excellent power dissipation capability when soldered to a copper plane on the PC board.

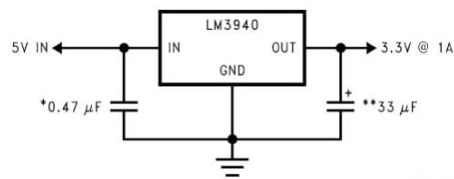
Features

- Output voltage specified over temperature
- Excellent load regulation
- Guaranteed 1A output current
- Requires only one external component
- Built-in protection against excess temperature
- Short circuit protected

Applications

- Laptop/Desktop Computers
- Logic Systems

Typical Application



DS012080-1

*Required if regulator is located more than 1" from the power supply filter capacitor or if battery power is used.

**See Application Hints.

LM3940 1A Low Dropout Regulator for 5V to 3.3V Conversion

Ficha técnica do transistor

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

Amplifier Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb-Free Package is Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage BC546 BC547 BC548	V_{CEO}	65 45 30	Vdc
Collector-Base Voltage BC546 BC547 BC548	V_{CBO}	80 50 30	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	6.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	100	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

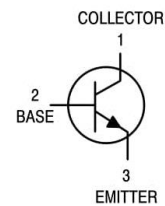
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C}/\text{W}$



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



TO-92
CASE 29
STYLE 17

MARKING DIAGRAM



BC54xx = Specific Device Code
Y = Year
WW = Work Week
■ = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 5 of this data sheet.

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS						
Collector – Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1.0\text{ mA}$, $I_B = 0$)	BC546	$V_{(BR)CEO}$	65	–	–	V
	BC547		45	–	–	
	BC548		30	–	–	
Collector – Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$)	BC546	$V_{(BR)CBO}$	80	–	–	V
	BC547		50	–	–	
	BC548		30	–	–	
Emitter – Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\ \mu\text{A}$, $I_C = 0$)	BC546	$V_{(BR)EBO}$	6.0	–	–	V
	BC547		6.0	–	–	
	BC548		6.0	–	–	
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 70\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 35\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 30\text{ V}$, $T_A = 125^\circ\text{C}$)	BC546	I_{CES}	–	0.2	15	nA
	BC547		–	0.2	15	
	BC548		–	0.2	15	
	BC546/547/548		–	–	4.0	μA

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain ($I_C = 10\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)	BC547A	h_{FE}	–	90	–	–
	BC546B/547B/548B		–	150	–	
	BC548C		–	270	–	
($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)	BC546	110	–	450		
	BC547	110	–	800		
	BC548	110	–	800		
	BC547A	110	180	220		
	BC546B/547B/548B	200	290	450		
	BC547C/BC548C	420	520	800		
($I_C = 100\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)	BC547A/548A	–	120	–		
	BC546B/547B/548B	–	180	–		
	BC548C	–	300	–		
Collector – Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0.5\text{ mA}$) ($I_C = 100\text{ mA}$, $I_B = 5.0\text{ mA}$) ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = \text{See Note 1}$)		$V_{CE(sat)}$	–	0.09	0.25	V
			–	0.2	0.6	
			–	0.3	0.6	
Base – Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0.5\text{ mA}$)		$V_{BE(sat)}$	–	0.7	–	V
Base – Emitter On Voltage ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$) ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$)		$V_{BE(on)}$	0.55	–	0.7	V
			–	–	0.77	

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current – Gain – Bandwidth Product ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$)	BC546	f_T	150	300	–	MHz
	BC547		150	300	–	
	BC548		150	300	–	
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)		C_{obo}	–	1.7	4.5	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\text{ V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)		C_{ibo}	–	10	–	pF
Small – Signal Current Gain ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	BC546	h_{fe}	125	–	500	–
	BC547/548		125	–	900	
	BC547A		125	220	260	
	BC546B/547B/548B		240	330	500	
	BC547C/548C		450	600	900	
Noise Figure ($I_C = 0.2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $R_S = 2\text{ k}\Omega$, $f = 1.0\text{ kHz}$, $\Delta f = 200\text{ Hz}$)	BC546	NF	–	2.0	10	dB
	BC547		–	2.0	10	
	BC548		–	2.0	10	

1. I_B is value for which $I_C = 11\text{ mA}$ at $V_{CE} = 1.0\text{ V}$.

Ficha técnica do diodo

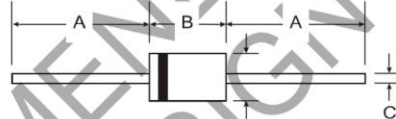


**NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGN
USE S1A-S1M series**

**1N4001 - 1N4007
1.0A RECTIFIER**

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- **Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)**



Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020D
- Terminals: Finish - Bright Tin. Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number
- Weight: 0.30 grams (Approximate)

Dim	DO-41 Plastic	
	Min	Max
A	25.40	—
B	4.06	5.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72

All Dimensions in mm

Maximum Ratings and Electrical Characteristics (@T_A = +25°C unless otherwise specified.)

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit	
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Working Peak Reverse Voltage	V _{RWM}									
DC Blocking Voltage	V _R									
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V	
Average Rectified Output Current (Note 1) @ T _A = +75°C	I _O	1.0								A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single Half Sine-Wave Superimposed on Rated Load	I _{FSM}	30								A
Forward Voltage @ I _F = 1.0A	V _{FM}	1.0								V
Peak Reverse Current @ T _A = +25°C at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = +100°C	I _{RM}	5.0 50								μA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _j	15				8				pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}	100								K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T _A	+150								°C
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to +150								°C

- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

Ficha técnica do relé



General Purpose Relays
PCB Relays

Potter & Brumfield

Miniature PCB Relay T7C

- Up to 12A switching capacity
- UL Class F coil insulation system
- 1 form A (NO) and 1 Form C (CO) contact arrangement

Typical applications
Appliances, HVAC, office machines



Approvals

UL E22575, TUV R50140298
Technical data of approved types on request

Contact Data

Contact arrangement	1 form A (NO), 1 form C (CO)
Rated voltage	240VAC, 24VDC
Max. switching voltage	240VAC, 24VDC
Rated current	10A
Contact material	AgCdO, Ag
Min. recommended contact load	100mA at 5VDC
Frequency of operation	360 ops./h
Operate/release time max.	10/5ms
Electrical endurance	10A 240VAC / 24VDC res, -30 to +85°C, 600ops/hr 100x10 ³ ops.
Contact ratings	10A
Mechanical endurance, DC coil	5x10 ⁶ operations

Coil Data

Coil voltage range	3 to 48VDC
Operative range, IEC 61810	2
Coil insulation system according UL	Class F

Coil data (continued)

Coil versions, DC coil

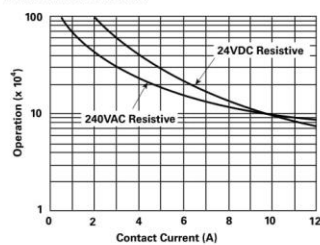
Coil code	Rated voltage VDC	Operate voltage VDC	Release voltage VDC	Coil resistance Ω±10%	Rated coil power mW
03	3	2.25	0.15	25	360
05	5	3.75	0.25	69.4	360
06	6	4.5	0.3	100	360
09	9	6.75	0.45	225	360
12	12	9.0	0.6	400	360
24	24	18.0	1.2	1600	360
48	48	36.0	2.4	4517	510

All figures are given for coil without pre-energization, at ambient temperature +23°C.

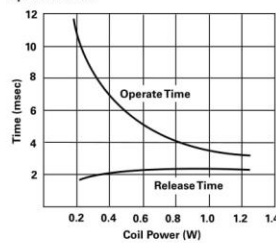
Insulation Data

Initial dielectric strength	
between open contacts	750V _{rms}
between contact and coil	1500V _{rms}
Clearance/creepage	
between contact and coil	>1.6/3.2mm

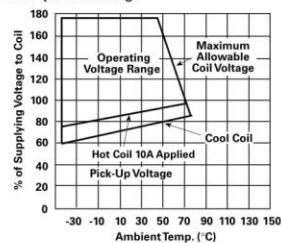
Electrical endurance



Operate time



Coil operative range



04-2011, Rev. 0411
www.te.com
© 2011 Tyco Electronics Corporation,
a TE Connectivity Ltd. company

Datasheets and product specification
according to IEC 61810-1 and to be used
only together with the 'Definitions' section.

Datasheets and product data is subject to the
terms of the disclaimer and all chapters of
the 'Definitions' section, available at
<http://relays.te.com/definitions>

Datasheets, product data, 'Definitions' section,
application notes and all specifications
are subject to change.

Miniature PCB Relay T7C (Continued)

Other Data

Material compliance: EU RoHS/ELV, China RoHS, REACH, Halogen content refer to the Product Compliance Support Center at www.te.com/customersupport/rohssupportcenter

Ambient temperature	-30°C to +85°C	
Category of environmental protection	IEC 61810	
	RTII - flux proof	
	RTIII - wash tight	
Shock resistance (functional)	10g	
Shock resistance (destructive)	100g	
Weight	12g	
Resistance to soldering heat THT	IEC 60068-2-20	
	RTII: 270°C/10s	
	RTIII: 260°C/5s	
Packaging unit	tube/40 pcs., carton box/1000 pcs.	

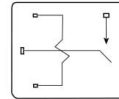
Accessories

Product Code	Description
27E1064	Socket, rated 10A at 300VAC. UL Recognized for US and Canada. Designed to fit same suggested board layout as relay.
20C430	Spring is designed to secure T7C relay in 27E1064 socket.

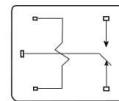
Terminal assignment

Bottom view on solder pins

1 form A (NO)



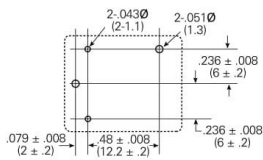
1 form C (CO)



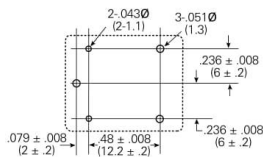
PCB layout

Bottom view on solder pins

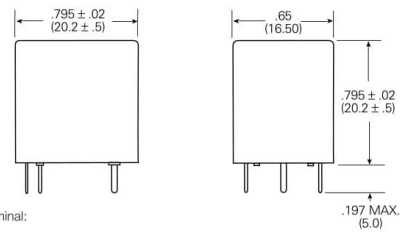
1 form A (NO)



1 form C (CO)



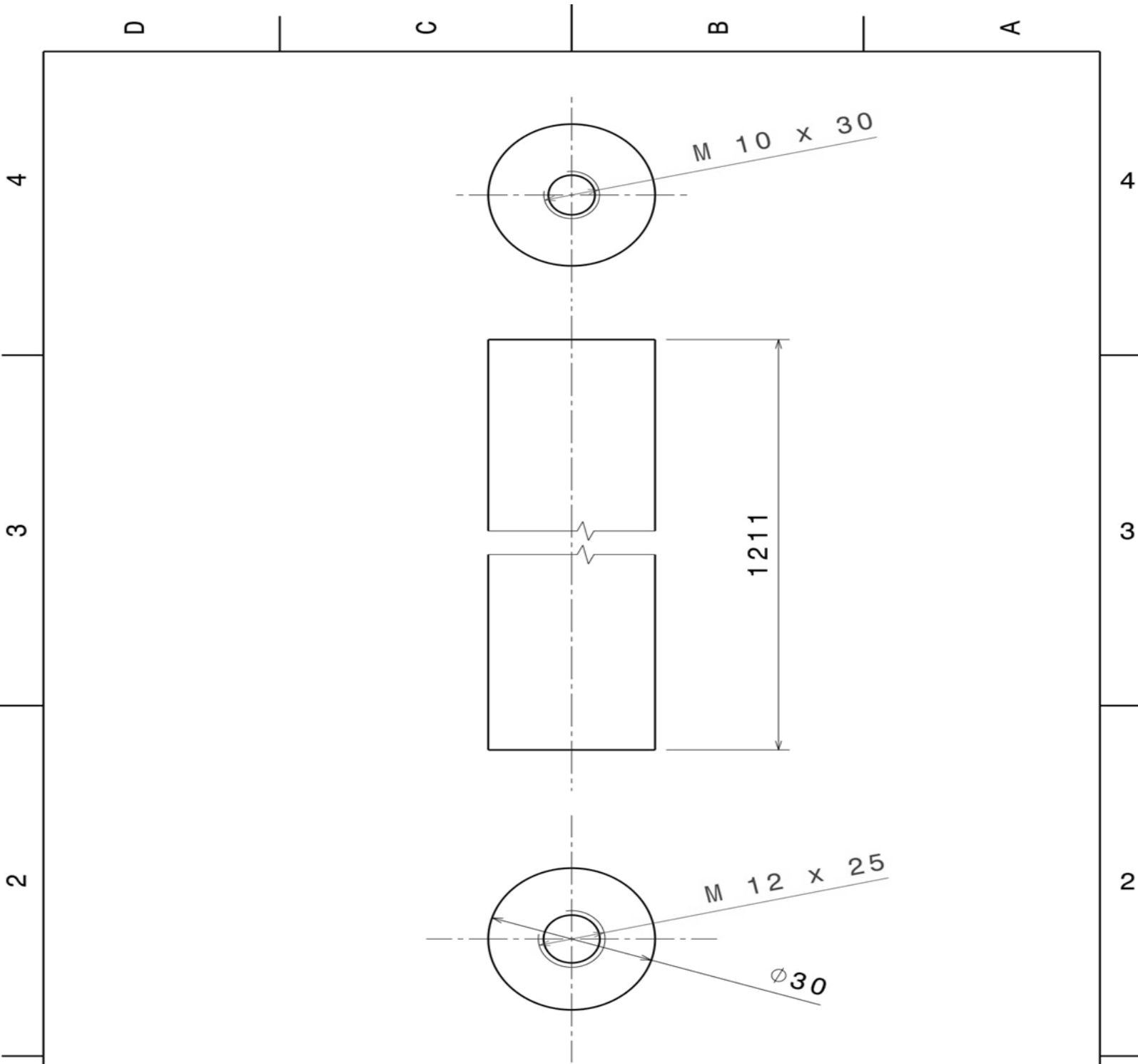
Dimensions



Movable contact terminal:
.012x.039 (0.3x1.0)
Stationary contact terminals:
.012x.039 (0.3x1.0)
Coil terminals:
.022x.022 (.56x.56)

Anexo C

Desenhos de definição para o sistema de impactor para ensaios em pisos de ginástica rítmica.



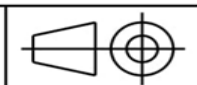
DESIGNED BY:
Arménio

DATE:
14-09-2016

Varão

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

SIZE
A4



Universidade De Aveiro

SCALE
1:1

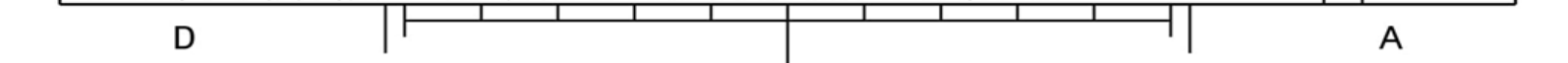
Qty.
1

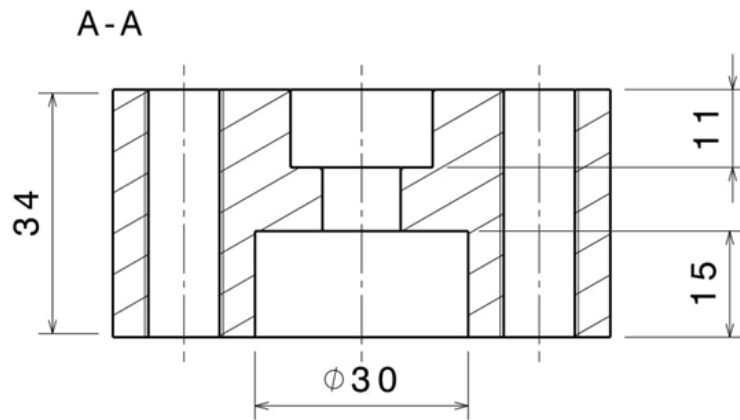
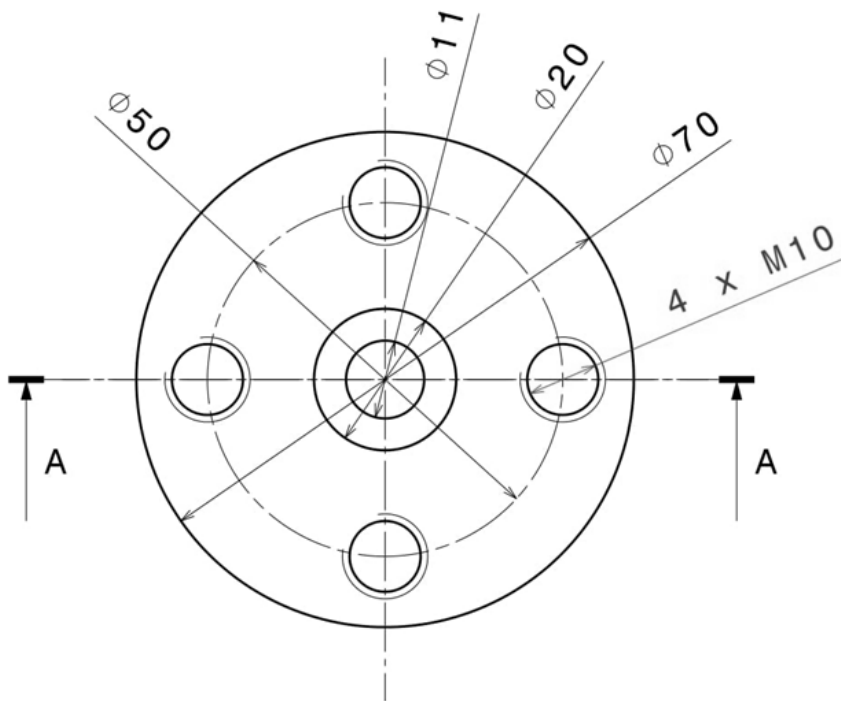
ISO 2768 - mK
 ISO 8015

Material
 aço EN C45 cromado duro

SHEET
1 / 1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



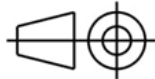


DESIGNED BY:
Arménio

DATE:
15-09-2016

Bloco de aperto do varão ao peso

SIZE
A4



Universidade de Aveiro

SCALE
1:1

Qtd.
1

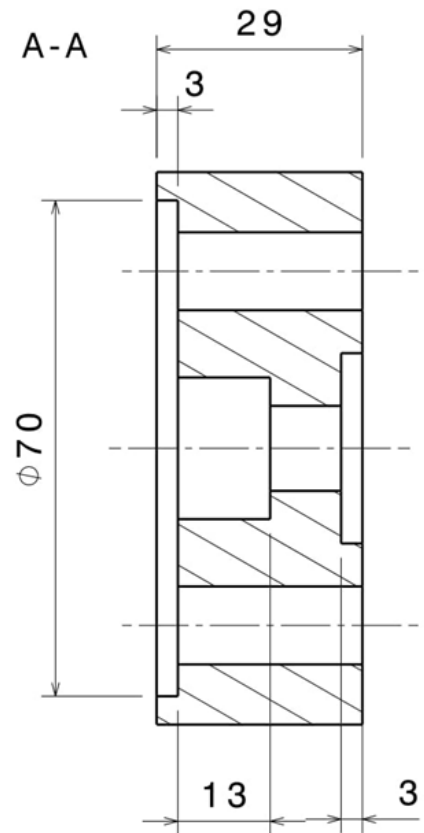
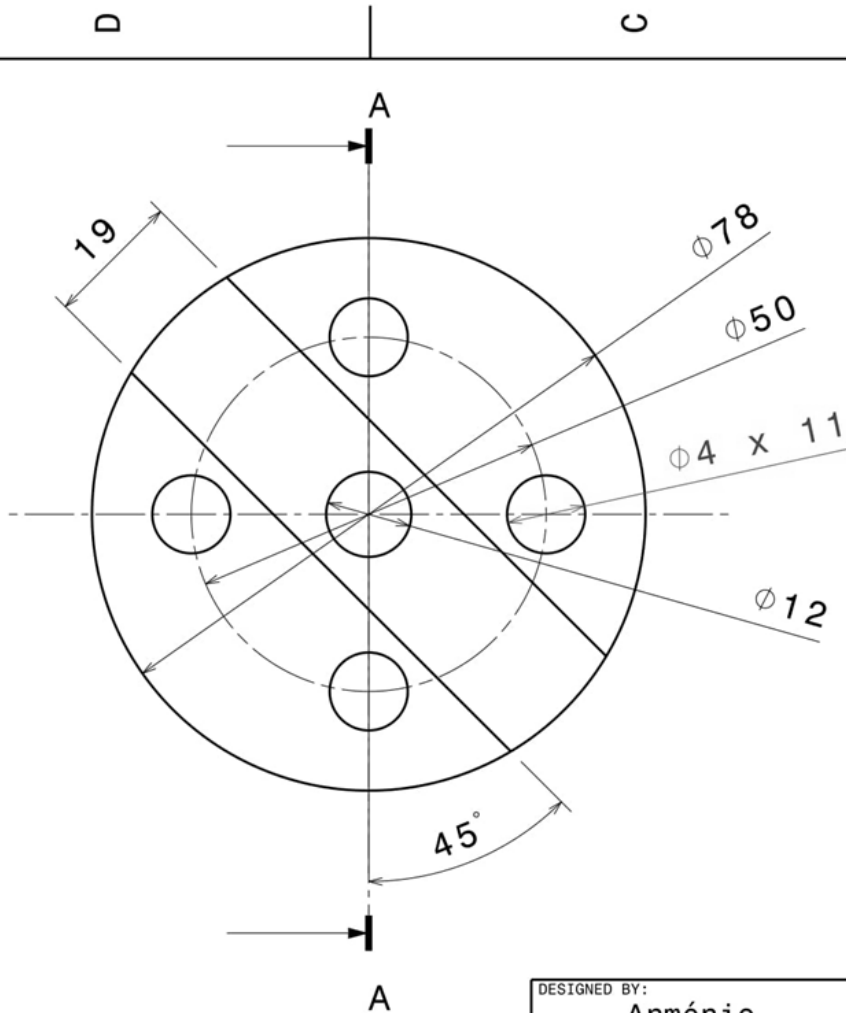
ISO 2768 - mK
ISO 8015

Material
aço EN C45 E

SHEET
1/1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



DESIGNED BY:
Arménio

DATE:
15-09-2016

SIZE
A4

SCALE
1:1

Qty.
1

Encosto superior da célula de carga

Universidade de Aveiro

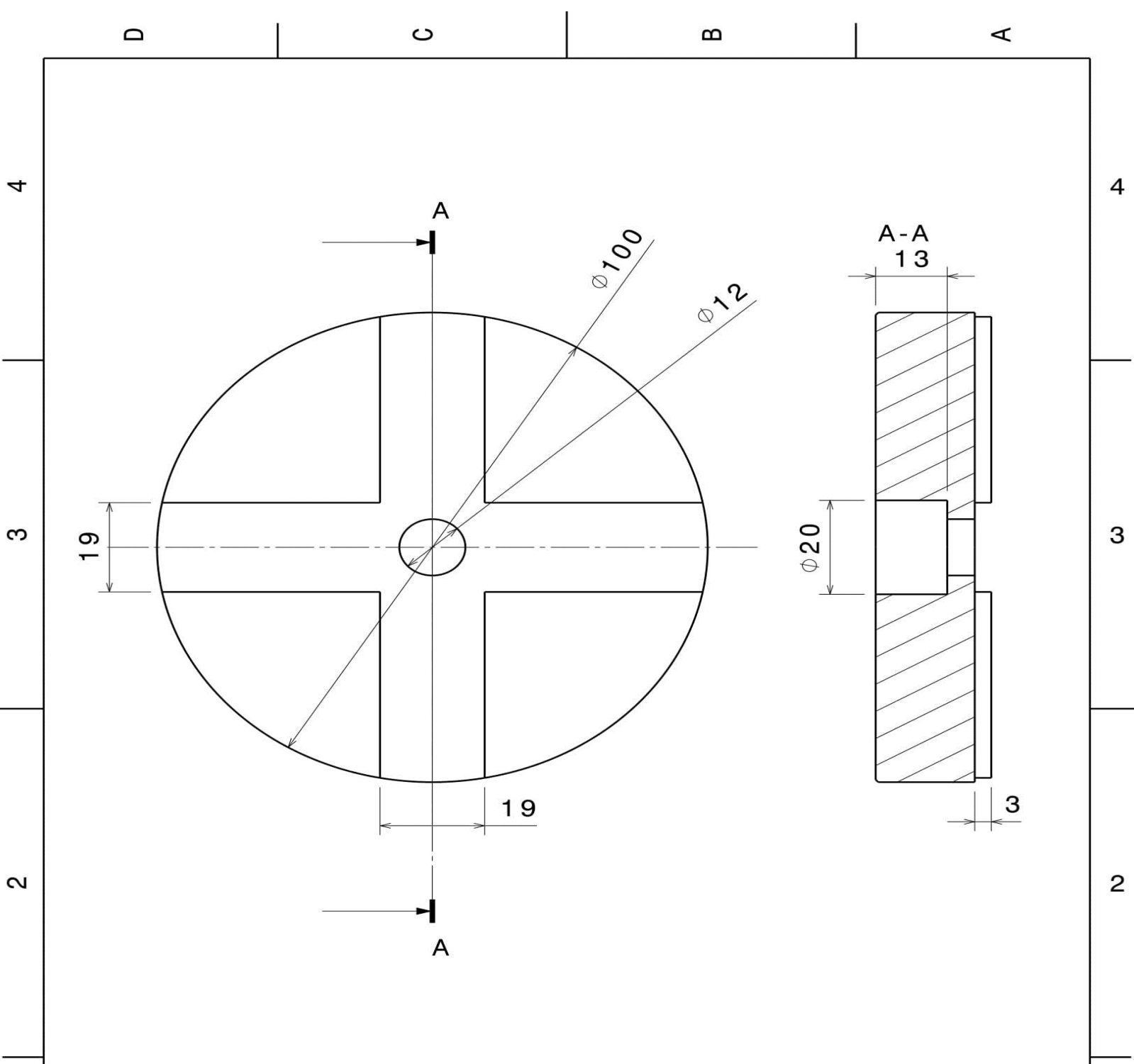
ISO 2768 - mK
 ISO 8015

Material
 aço EN C45 E

SHEET
1/1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



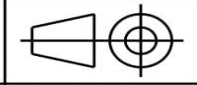
DESIGNED BY:
Arménio

DATE:
14-09-2016

Placa de Impacto

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

SIZE
A4



Universidade de Aveiro

SCALE
1:1

Qtd.
1

ISO 2768 - mK
 ISO 8015

Material
 Alumínio 6082 T6

SHEET
1 / 1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

Anexo D

Manual de funcionamento do *software* NI MAX para a MEI.

Iniciar o programa clicando no ícone  presente no ambiente de trabalho.

O *software* apresenta o seguinte esquema de funcionamento:

- 1) Inicialmente deve ser criada uma tarefa abrindo o separador “*My System*” e clicar com o botão direito do rato no separador “*Data Neighborhood*” onde vai aparecer uma opção “*Create New*” (Figura D.0.1).

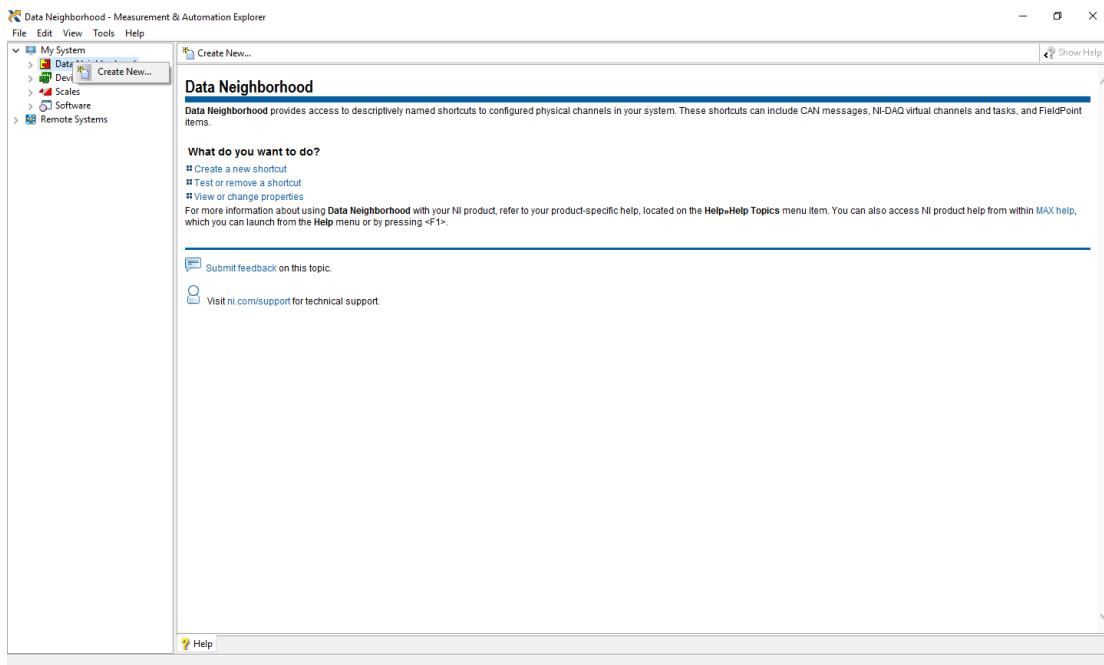


Figura D.0.1 – Criação de uma nova tarefa no *software* NI MAX.

- 2) No menu que podemos ver na Figura D.0.2 seleccionar a opção “NI-DAQ mx Task” e clicar em “*Next*”.

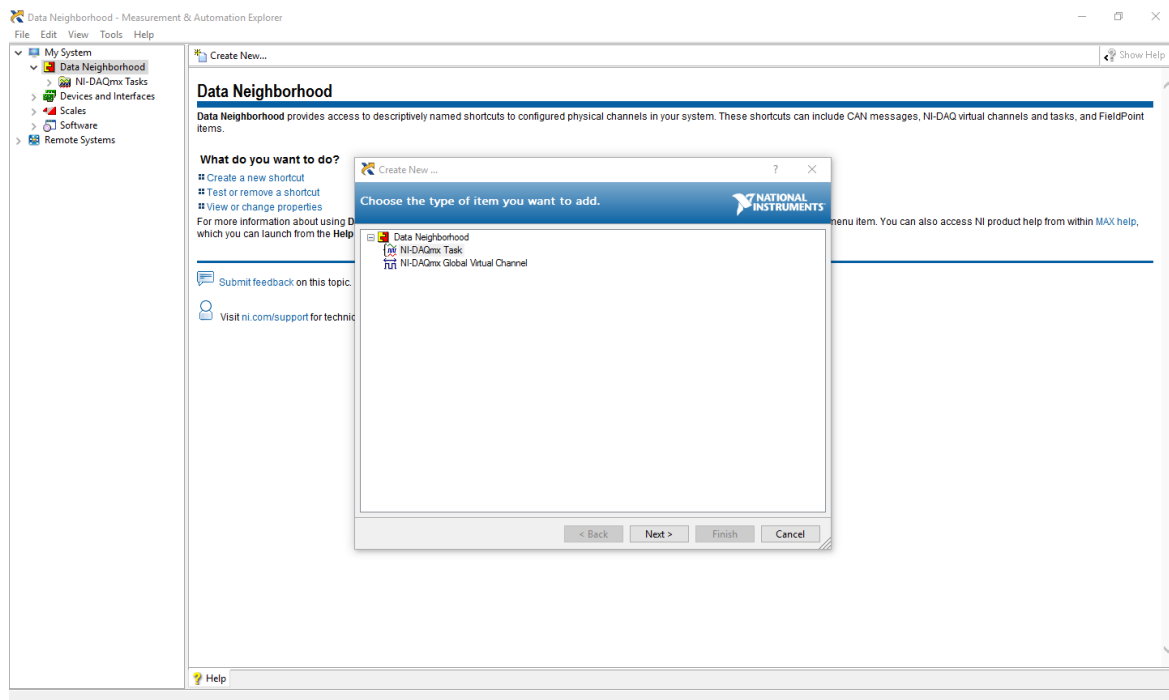


Figura D.0.2 – Menu de seleção do tipo de tarefa a criar.

- 3) Posteriormente selecionar um tipo de sinal a ser adquirido, neste caso foi escolhida uma entrada analógica de obtenção de tensão para leitura do *encoder* (Figura D.0.3). Após a seleção clicar em “*Next*”.

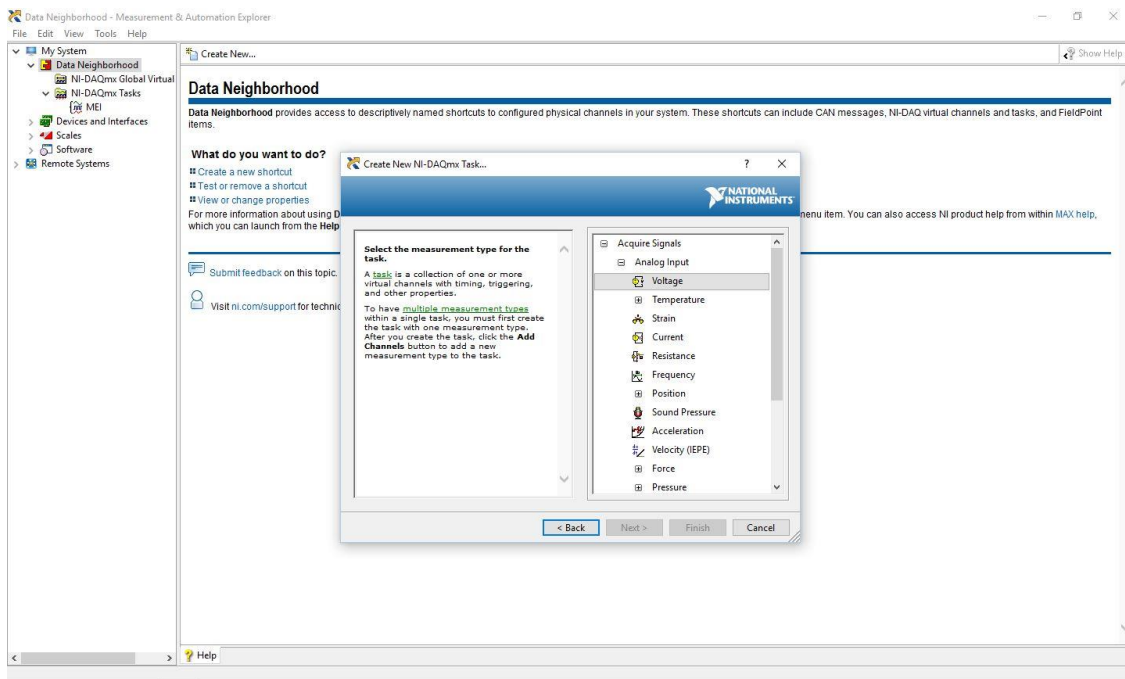


Figura D.0.3 – Escolha de um tipo de sinal a adquirir.

- 4) Selecionar o canal que está a ser utilizado na carta NI 9215 para obtenção de valores de tensão proveniente do *encoder* (Figura D.0.4). Após isto clicar em “Next”.

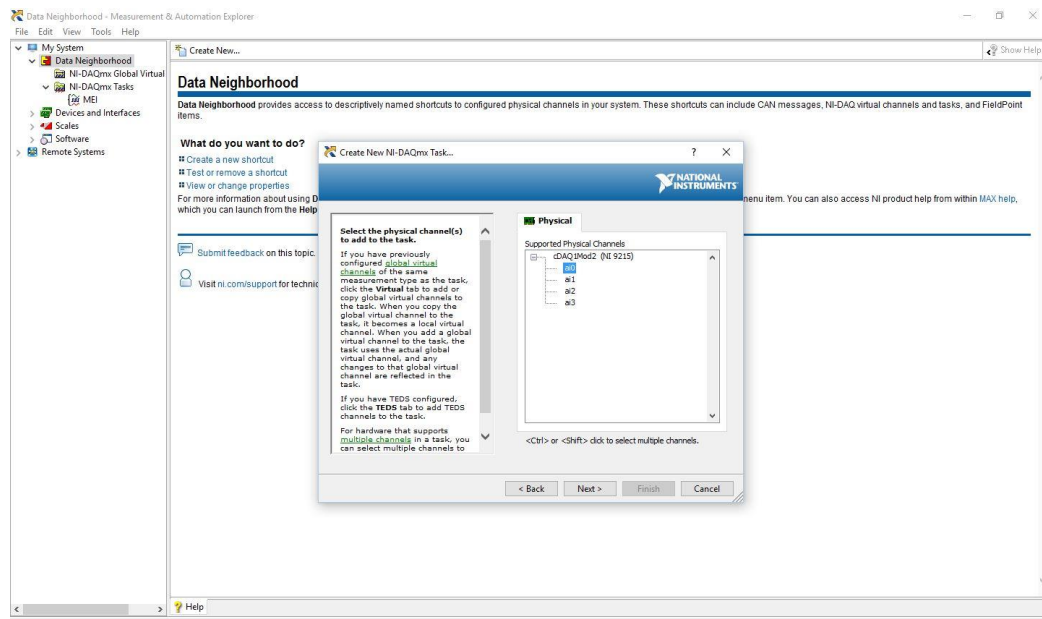


Figura D.0.4 – Canal da carta NI 9215 a ser utilizado.

- 5) Para terminar a criação do tipo de tarefa seleccionar um nome para esta (Figura D.0.5) e clicar na opção “*Finish*”.

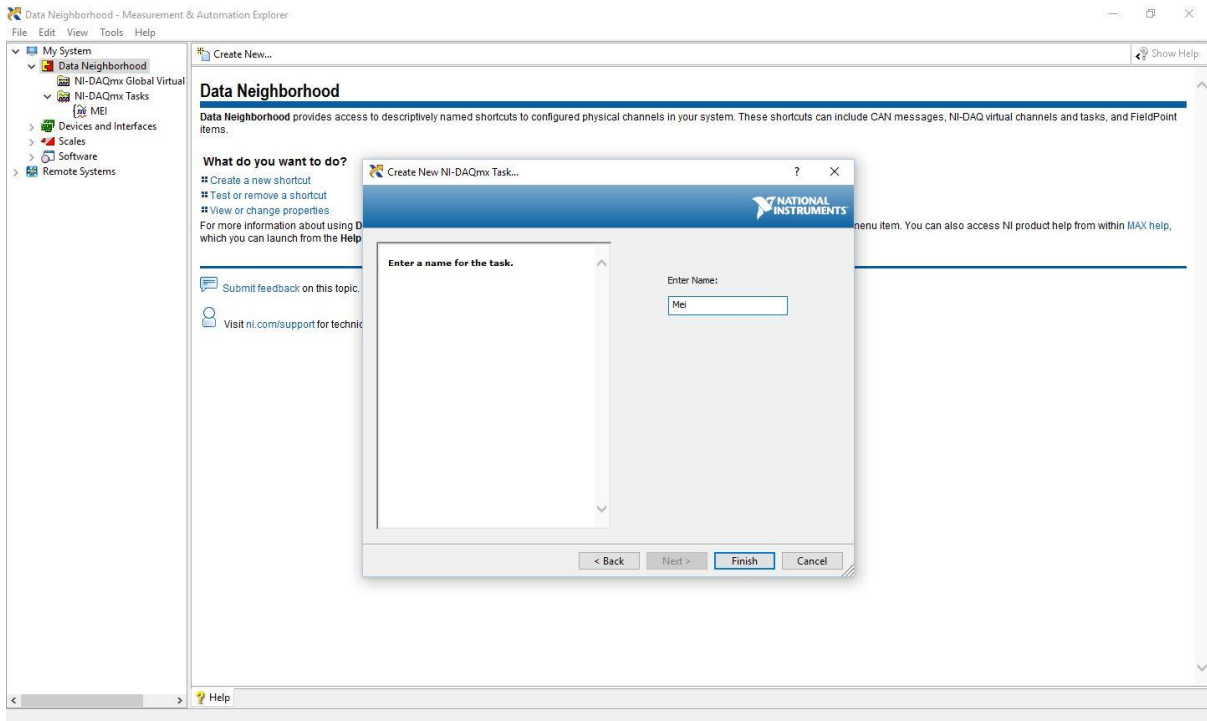


Figura D.0.5 – Colocar nome na tarefa do NI MAX.

- 6) No menu que se pode ver na Figura D.0.6, seleccionar as definições a ter em conta para a leitura do encoder. No caso do *encoder* utilizado foi seleccionado 10 V como máximo de leitura e -0 V como mínimo. Seleccionou-se ainda o número de amostras a retirar (300000) e taxa de aquisição 25 kHz.

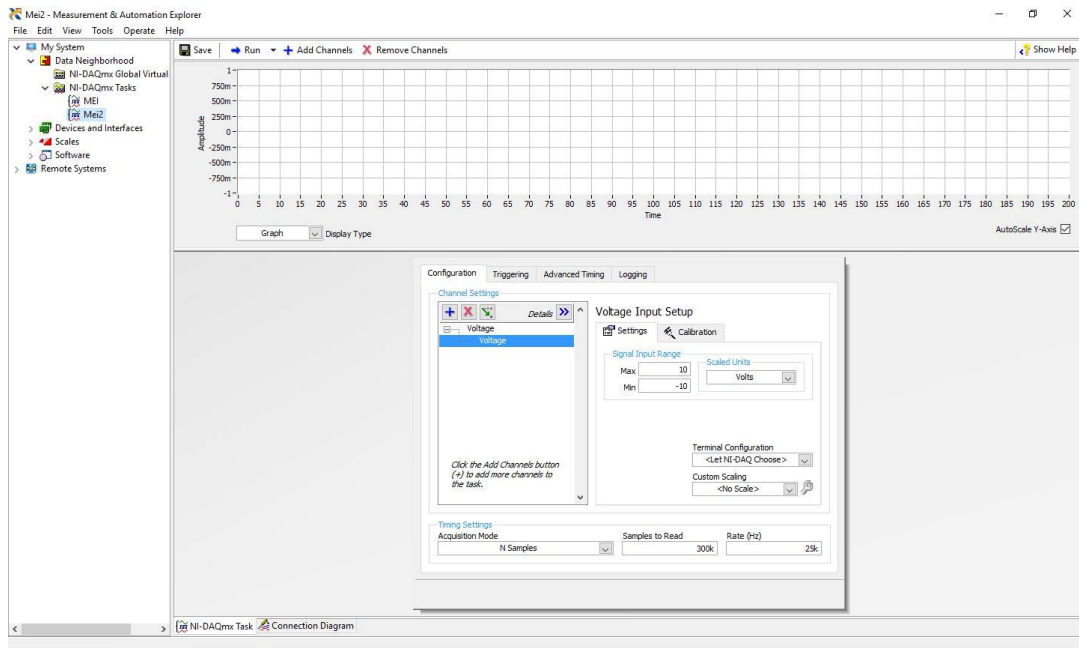


Figura D.0.6 – Definições de leitura do *encoder*.

- 7) Após selecionadas todas as definições para a leitura do encoder, foi criada uma calibração selecionando o separador “*Configuration*” e clicando na opção “*Calibrate*” (Figura D.0.7).

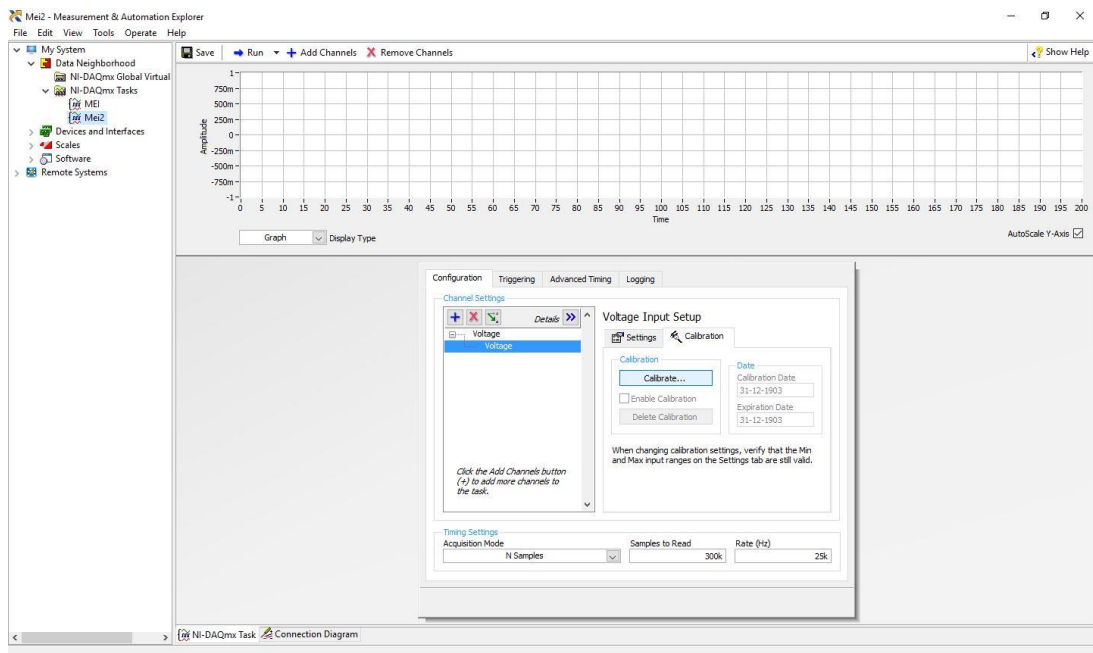


Figura D.0.7 – Aceder ao menu de calibração do *encoder*.

- 8) No menu calibração inicialmente é necessário colocar o nome da calibração a fazer (Figura D.0.8). Após isto clicar na opção “Next”.

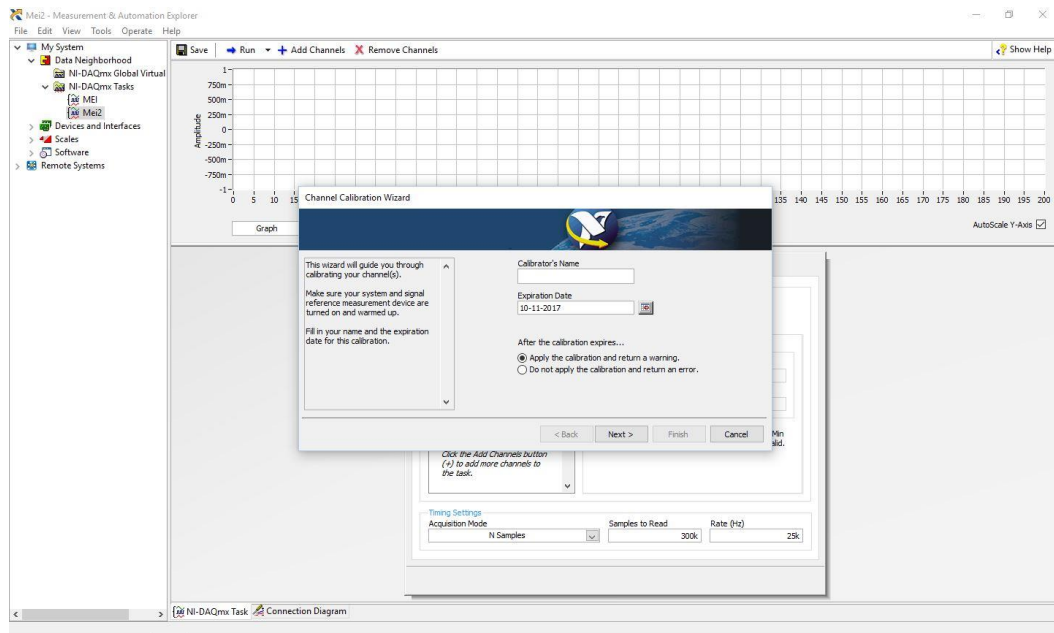


Figura D.0.8 – Nome da calibração a efetuar.

- 9) No menu seguinte seleccionar o numero de amostras e a frequência utilizada para a calibração (Figura D.0.9). Clicar em “Next”.

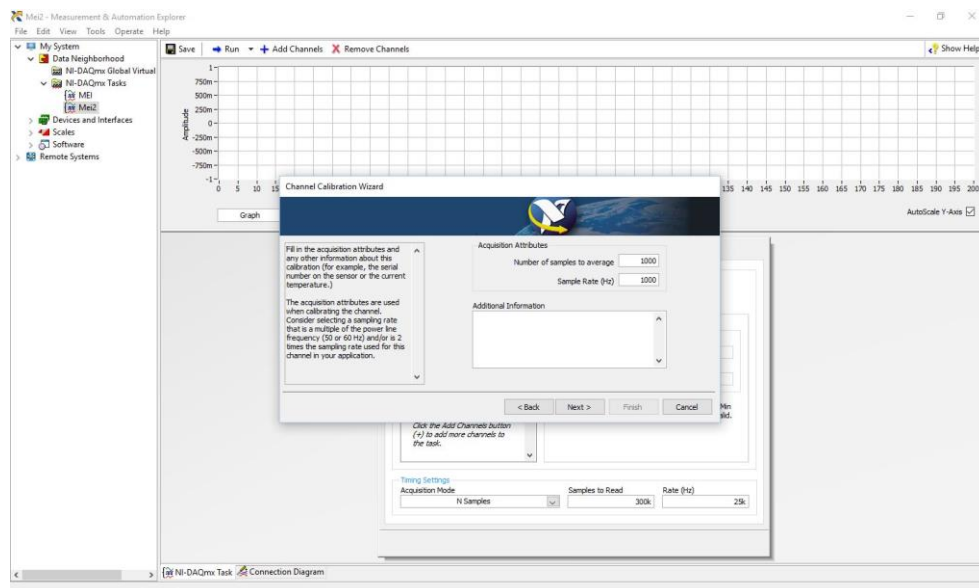


Figura D.0.9 – Número de amostras e taxa de aquisição para a calibração do *encoder*.

10) Colocar na coluna “*Reference*” o valor da medida real obtida com a fita métrica e após isto clicar na opção “*Commit Calibration Value*” (Figura D.0.10). Colocar o impactor noutra posição e voltar a executar este passo sucessivamente até ao numero de pontos de calibração pretendida.

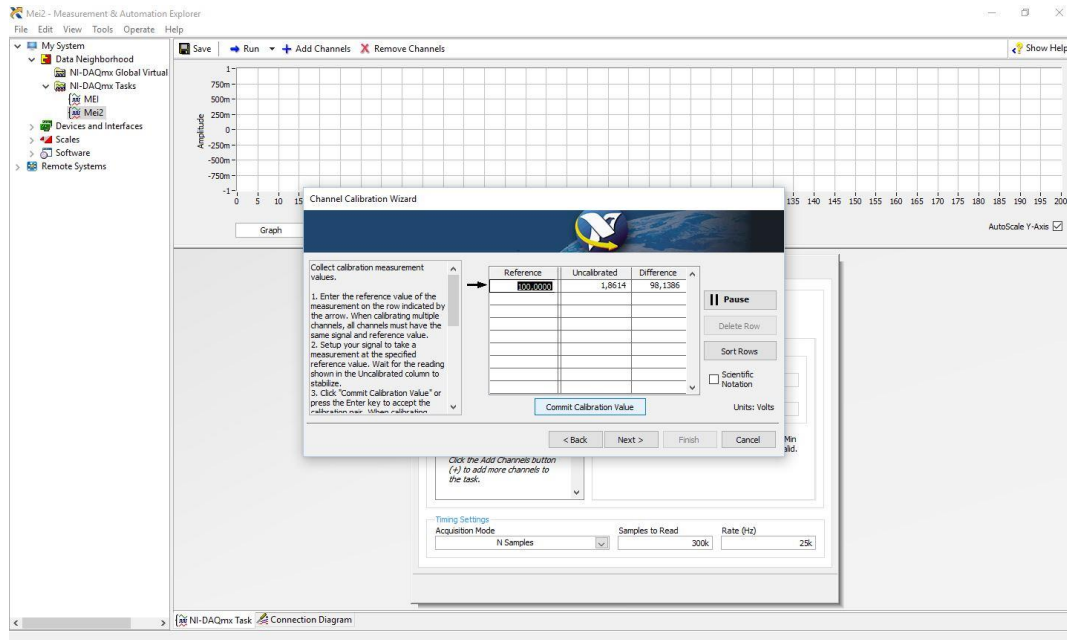


Figura D.0.10 – Calibração do encoder no Software NI MAX.

11) Terminada a calibração do encoder é necessário criar um novo tipo de leitura de sinal para a célula de carga. Clicar na opção com o símbolo “+” e seleccionar a opção “*Force (Bridge)*” (Figura D.0.11).

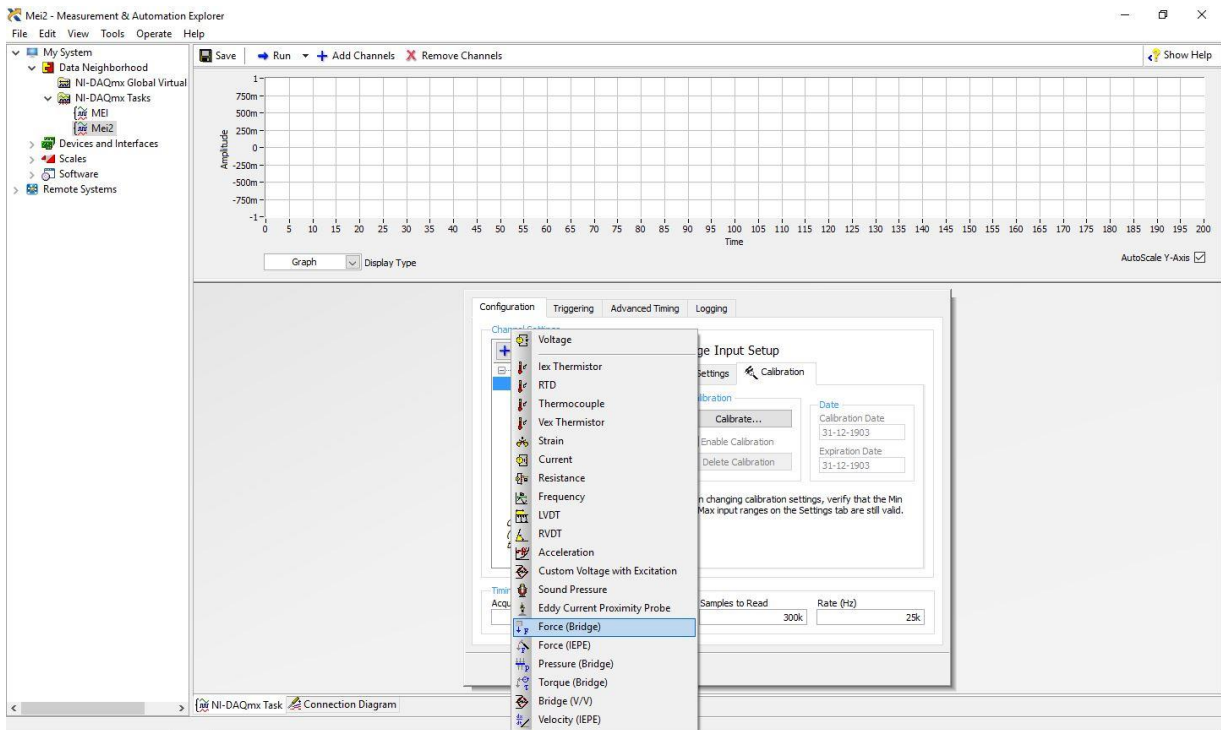


Figura D.0.11 – Selecionar um novo tipo de aquisição de sinal para obtenção dos valores da célula de carga.

- 12) No menu que se pode ver na Figura D.0.12, selecionar as definições a ter em conta para a leitura da célula de carga. Após isto, clicar na opção “*configure scale*” para criar uma escala de leitura.

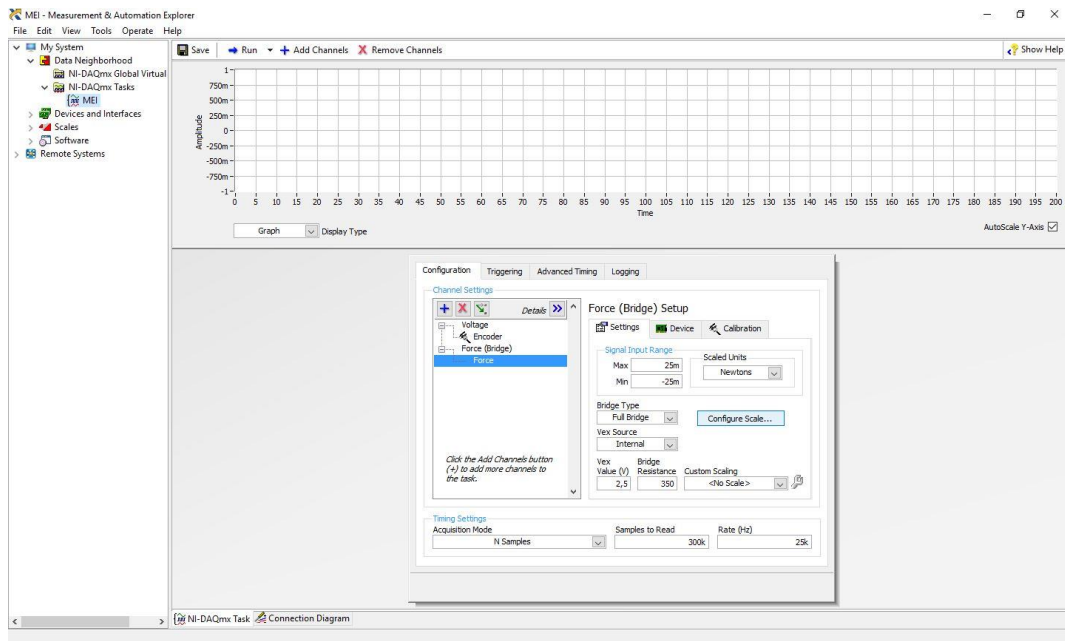


Figura D.0.12 – Definições para a célula de carga no NI MAX.

13) No menu “*configure scale*” selecionar o tipo de escala (Figura D.0.13).

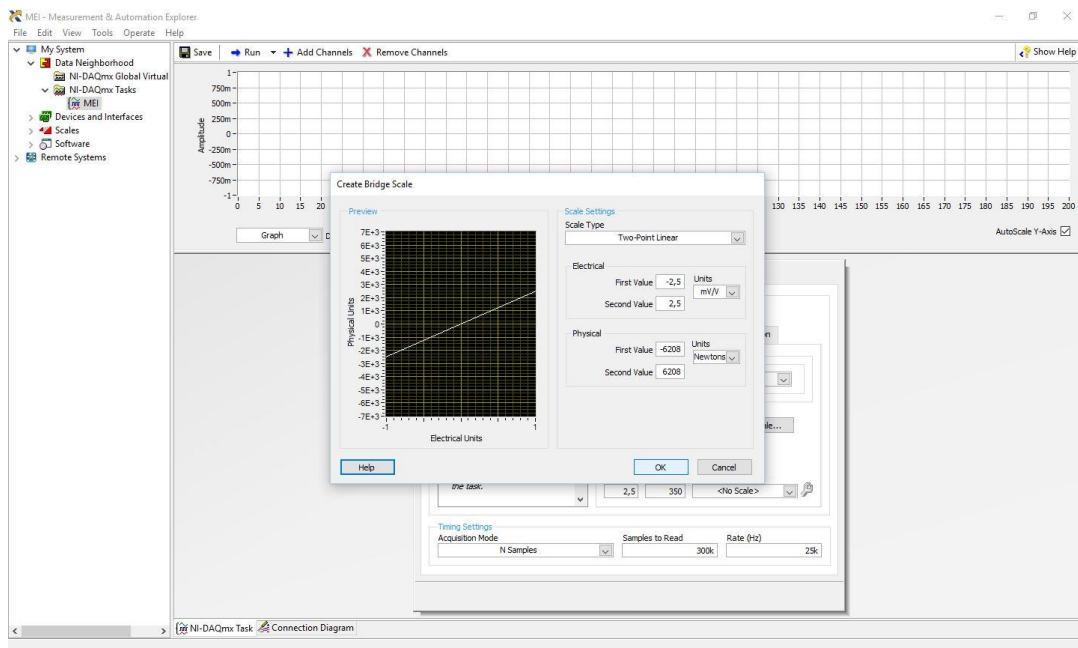


Figura D.0.13 – Escala de calibração da célula de carga.

- 14) Após todos os passos de configuração da nova tarefa no software NI MAX, é possível a realização de ensaios na MEI para obtenção de deslocamento e força. Para iniciar o ensaio atuar o botão “Run” no NI MAX (Figura D.0.14) e deixar cair o impactor sobre a amostra.

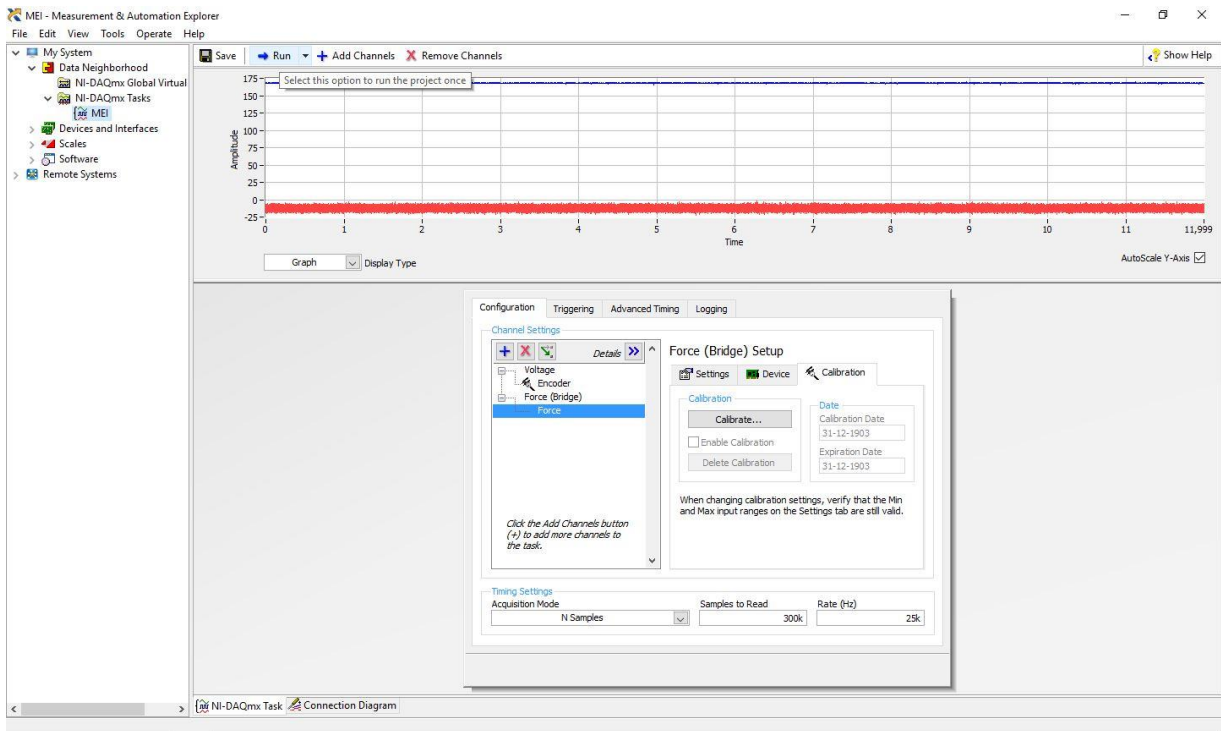


Figura D.0.14 – Início da obtenção de dados da MEI.

- 15) Na parte superior do NI MAX existe uma zona onde é possível verificar o gráfico que se obtém depois do ensaio, este contempla o gráfico de deslocamento e o gráfico de força com a mesma escala temporal (Figura D.0.15).

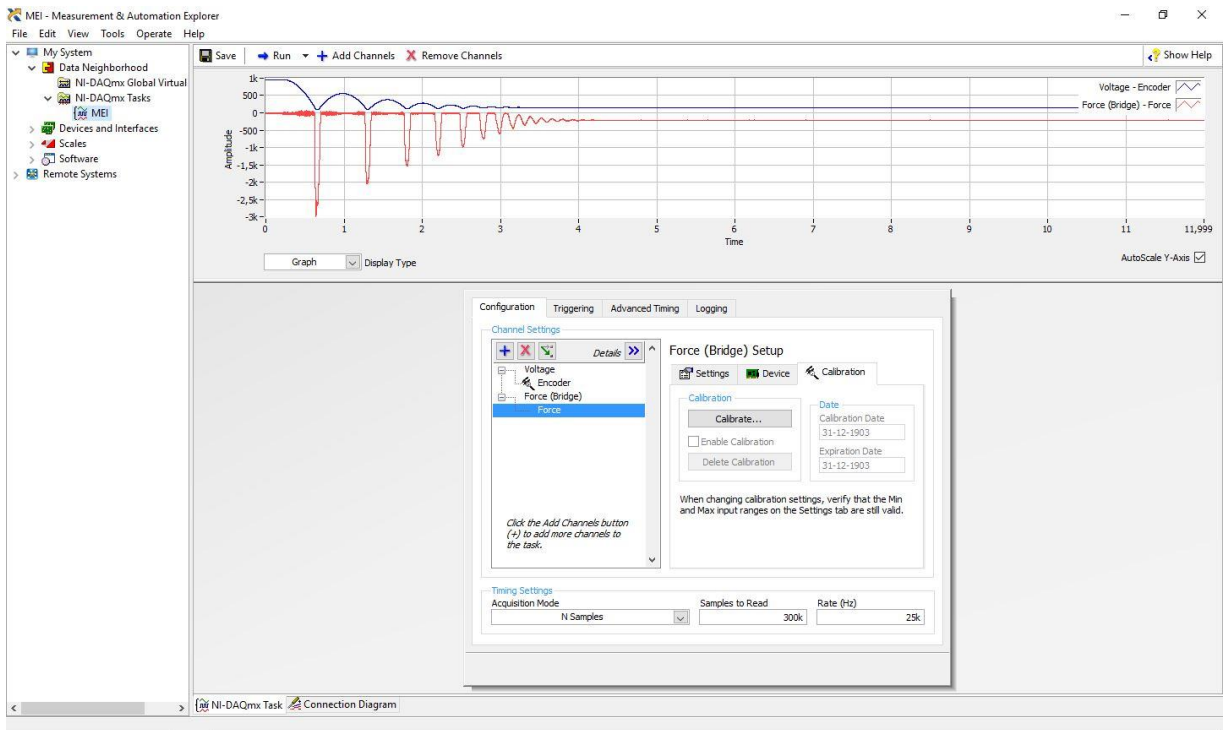


Figura D.0.15 – Obtenção do gráfico de deslocamento e força no NI MAX.

- 16) Para exportar os dados adquiridos pelo NI MAX para um ficheiro Microsoft Office Excel clicar com o botão direito do rato no canto superior direito sobre “*Voltage – Encoder*”, e no menu seleccionar “*Export*” e posteriormente “*Export Data To Excel*” (Figura D.0.16).

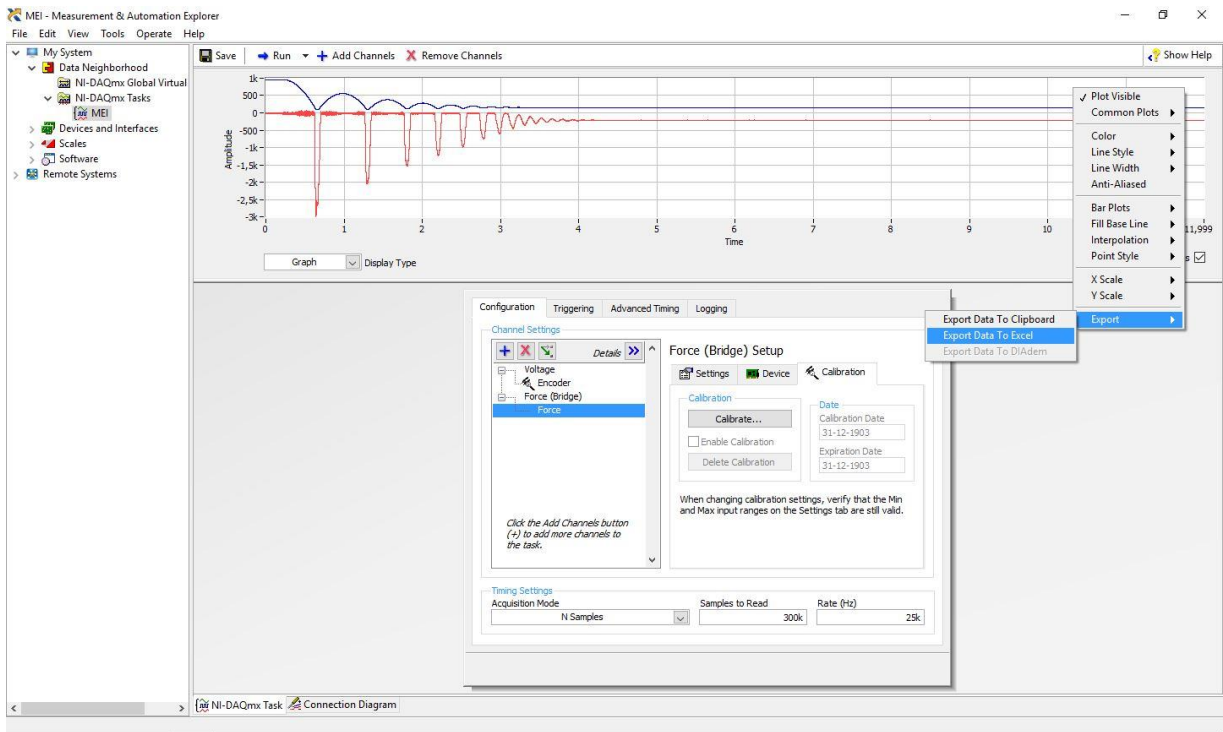
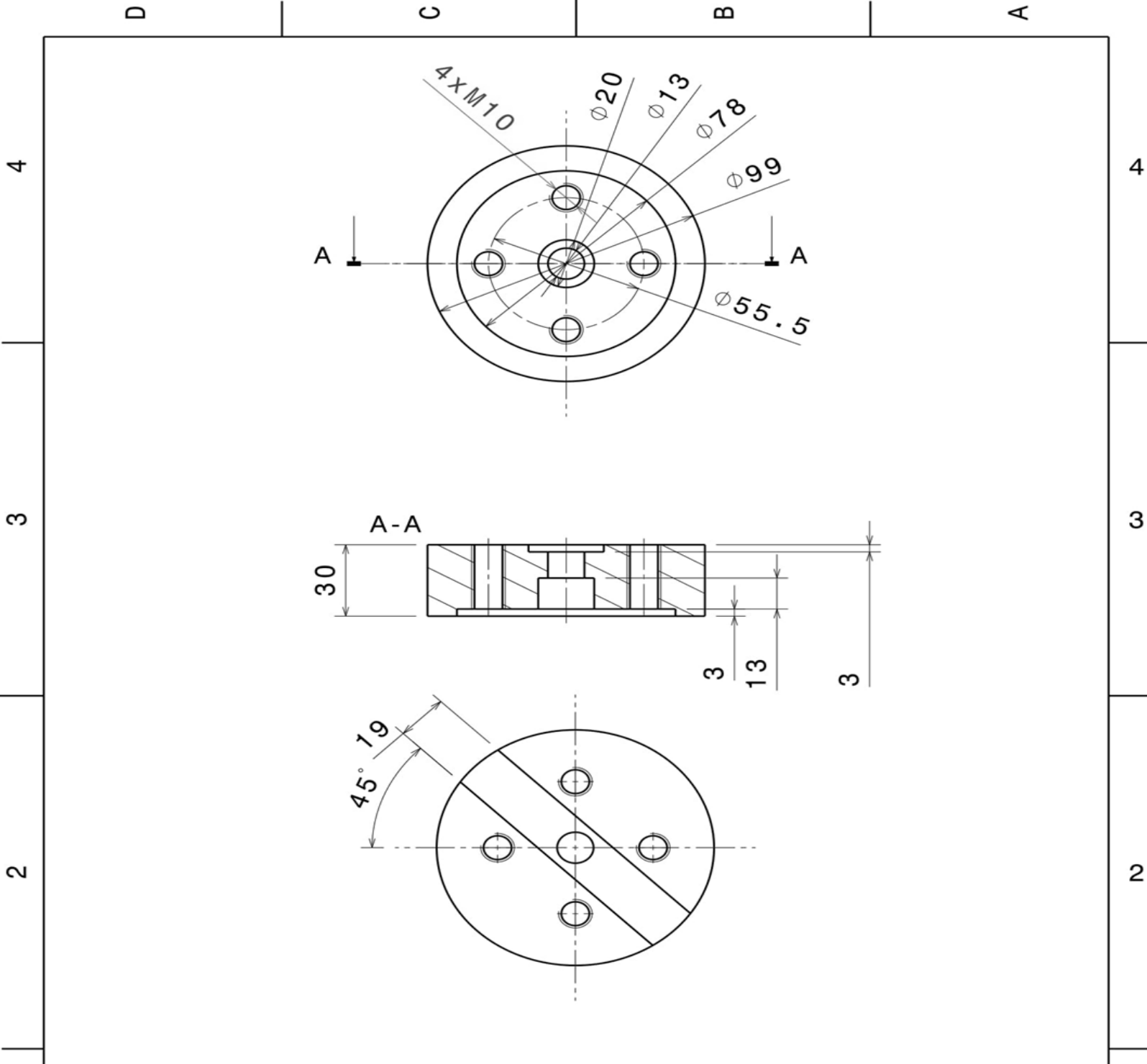


Figura D.0.16 – Gravar ficheiro de dados em formato do Microsoft Office Excel.

Anexo E

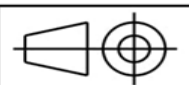
Desenhos de definição para configuração do sistema de impactor com peso maior na parte inferior da célula de carga.



DESIGNED BY:
Arménio
 DATE:
10-10-2016

Peça superior célula

SIZE
A4



Universidade de Aveiro

SCALE
1:2

Qty.
1

ISO 2768 - MK
 ISO 8015

Material
 aço EN C45 E

SHEET
1 / 1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

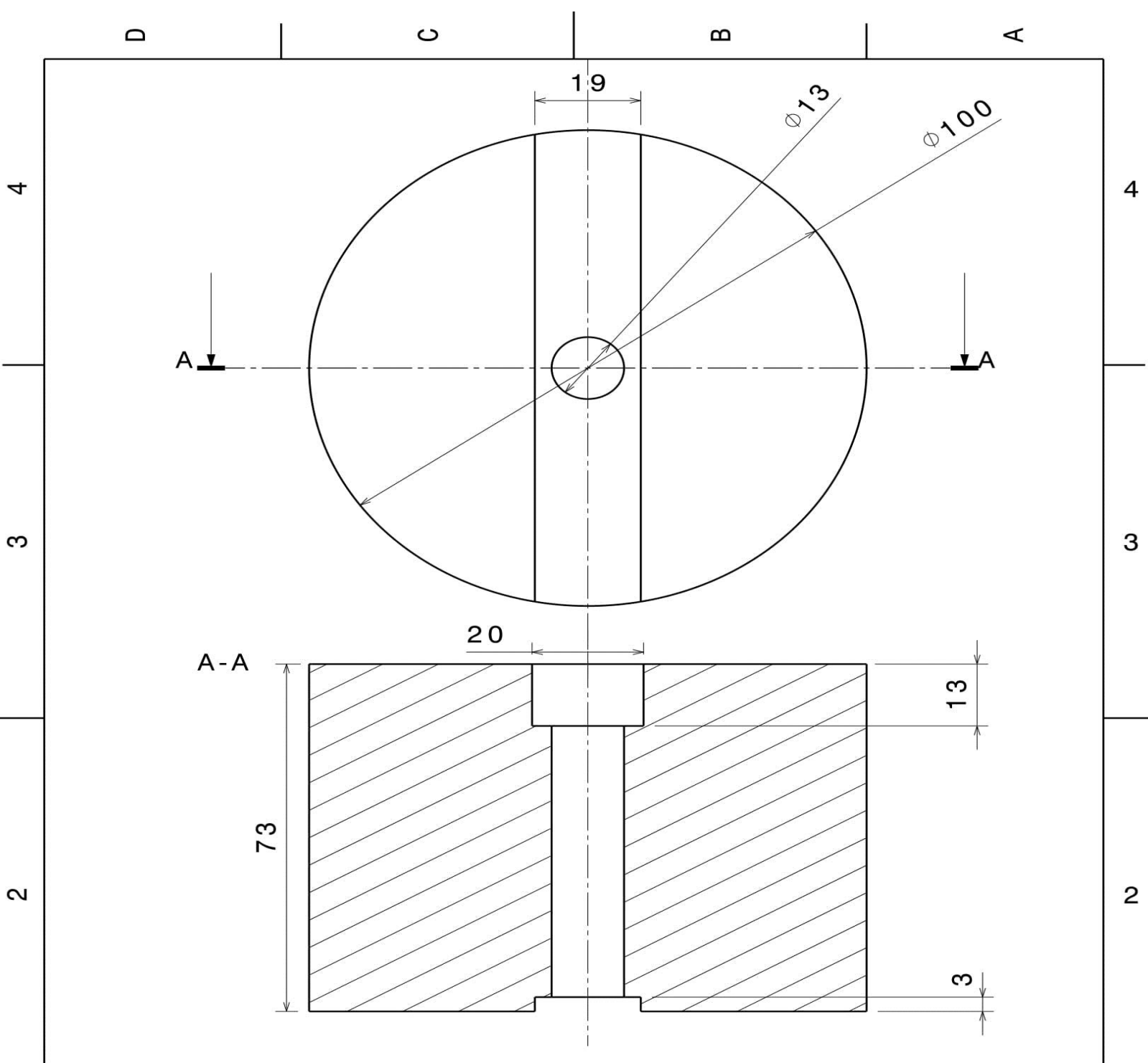
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

4
3
2
1

4
3
2
1

D C B A

D A



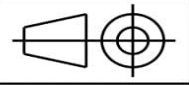
DESIGNED BY:
Arménio

DATE:
10-10-2016

Peça_inferior_célula

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

SIZE
A4



Universidade de Aveiro

SCALE
1:1

Qty.
1

ISO 2768 - mK
ISO 8015

Material
 aço EN C45 E

SHEET
1/1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

4
3
2
1

4
3
2
1

D C B A

D A

Anexo F

Macro de conversão de unidades para aplicar nos valores retirados do *software* NI MAX.

```
Sub mili()
```

```
col = 2
```

```
lin = 2
```

```
***** ult é a ultima célula com valor>-10, ou seja, é mesmo a última *****
```

```
ult = WorksheetFunction.CountIf(Range("A:A"), ">-10") + lin + 1 '1 são as células em branco  
ou não numéricas
```

```
For i = lin To ult
```

```
valor = Cells(i, col)
```

```
s = Right(Left(valor, Len(valor)), 1)
```

```
Cells(i, col + 1) = valor
```

```
If s = "m" Then
```

```
num = Left(valor, Len(valor) - 1)
```

```
Cells(i, col + 1) = num * 0.001
```

```
End If
```

```
If s = "k" Then
```

```
num = Left(valor, Len(valor) - 1)
```

```
Cells(i, col + 1) = num * 1000
```

```
End If
```

```
If s = "u" Then
```

```
num = Left(valor, Len(valor) - 1)
```

```
Cells(i, col + 1) = num * 0.000001
```

```
End If
```

```
Next
```

```
End Sub
```

Anexo G

Manual do filtro Butterworth

Retirado de: <https://www.uantwerpen.be/en/staff/sam-vanwassenbergh/my-website/excel-vba-tools/>. Acesso em: 20/08/2016

Butterworth Filter for Microsoft Excel (version 2): manual

A “fourth order zero-phase shift” butterworth low-pass data noise filter with user-defined cut-off frequency, with the possibility to differentiate the filtered data into velocities (first derivate against time) and accelerations (second derivate against time). Version 2 can also be used adaptively to fine-tune cut-off frequencies according to local signal characteristics by specifying a range of cut-off frequencies and the number of iterations to be performed (see Erer 2007, J. Biomech.).

Written in ‘Microsoft Visual Basic For Applications’ for Microsoft Excel 2000 by Sam Van Wassenbergh (University of Antwerp), 6 june 2007. Formulae in the program are based on the book “Biomechanics and Motor Control of Human Movement” by D.A. Winter (2004, third edition) and the article “Adaptive usage of the Butterworth digital filter” by K. Erer (2007, Journal of Biomechanics, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.02.019>)

How to add this function to Excel?

- 1) The file named “Butterworth Filter.xla” is on your hard drive
- 2) Open Excel
- 3) In the menu bar, go to Tools -> Add-Ins -> Browse (locate and select the above .xla file) -> ok
Unless the “Butterworth Filter.xla” file changes position, its code will become automatically available upon start-up of MS Excel.

How does it work?

The following things are necessary to make the program work:

A) unmodified Butterworth filter (single, constant cut-off frequency)

- 1) one column has a cell with the word “time” (exactly this word, no capital letters!) as content, and with time values (in seconds!) in the rows underneath the “time”-cell (minimal 2 cells), the data must have a constant sampling rate.
- 2) each column with data needed to be filtered has a column on its right hand side with title cell

“butfilt1” (exactly this word) for the first data-column, “butfilt2” (exactly this word) for the second data-column, “butfilt3” (exactly this word) for the third data-column... for maximum 50 data-columns.

3) above each “butfilt#”-cell, a number is given for the cutoff-frequency to be used in the filtering procedure.

The following table gives an example of how this looks like in an Excel-worksheet: the words colored in red must be exact, and the numbers in green (above each “butfilt#”-column; cutoff-frequencies) must be given at these locations in the worksheet. The italic numbers are the output of the program.

**By typing “le” into the cell indicated by the arrow (1 row above the data title), the default boundary condition (i.e. no movement assumed prior to time 0 and after the final data point) is changed to a procedure where two time steps are extrapolated before and after the entered data using a linear regression on the first and last three points of the data. In this way, a constant velocity (but zero acceleration) is assumed at the boundaries of the data. “le” refers to linear extrapolation.

		25		
time	data	butfilt1	velocity	acceleration
0	12,2	12,2717	6,113499	848,208
0,004	12,4	12,32061	12,89916	1047,643
0,008	12,5	12,3749	14,49465	572,3173
0,012	12,4	12,43657	17,4777	923,6059
0,016	12,3	12,51472	21,88349	899,9212
	12,5	12,61164	24,67707	83,41299
	12,9	12,71214	22,5508	-1171,42
	12,8	12,79204	15,30574	-1986,66
	13	12,83458	6,657555	-1745,68
	13,5	12,8453	1,340317	-664,655

4) if you want the filtered data to be differentiated, make a column on the right side of any butfilt# column with title “velocity” (for first derivate) or “acceleration” (for second derivate). Note that there is no number indexing in title cells “velocity” and “acceleration”, they just have to be on the right side adjacent to the “butfilt#” column. First-order central differences are used in all derivative calculations.

5) Run the program by the short-cut keys: **CTRL SHIFT B**

Anexo H

Gráficos de deslocamento e força para praticável com colchão de material polimérico de quatro camadas.

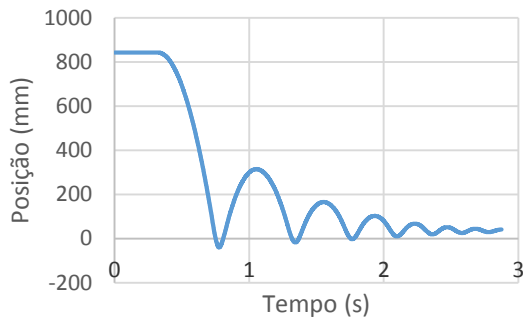


Gráfico H.0.1 – Deslocamento ponto 1 ensaio 5

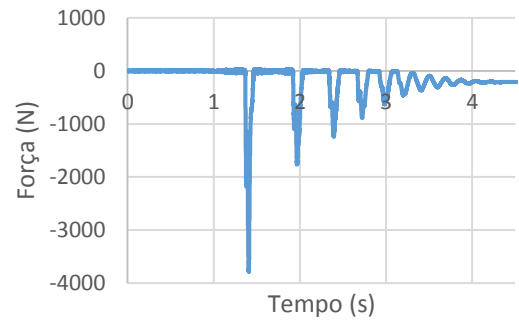


Gráfico H.0.4 - Força ponto 1 ensaio 5.

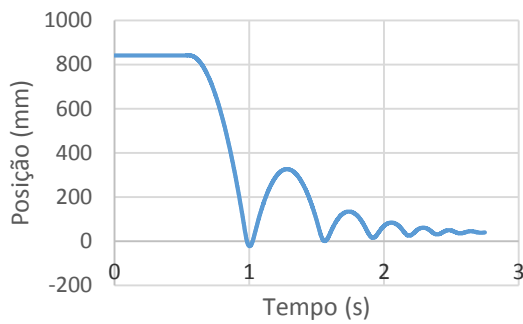


Gráfico H.0.2 - Deslocamento ponto 2 ensaio 5.

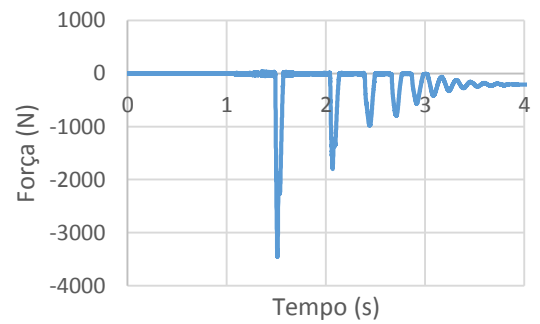


Gráfico H.0.5 - Força ponto 2 ensaio 5.

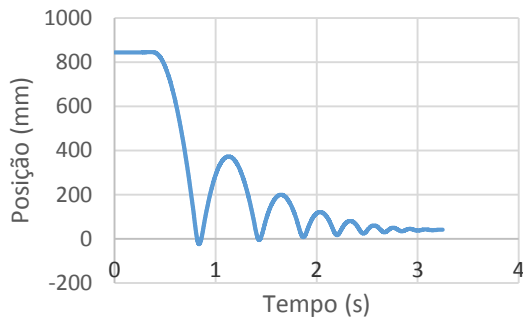


Gráfico H.0.3 - Deslocamento ponto 3 ensaio 5.

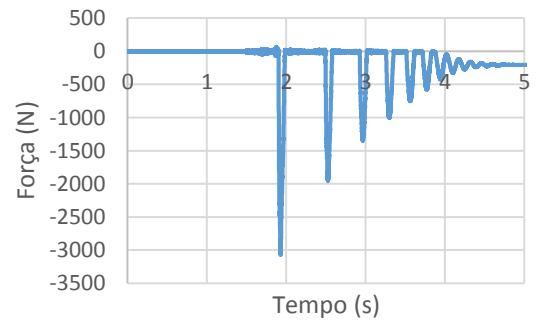


Gráfico H.0.6 - Força ponto 3 ensaio 5.

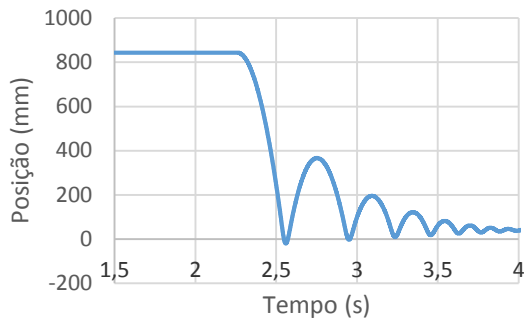


Gráfico H.0.7 - Deslocamento ponto 4 ensaio 5.

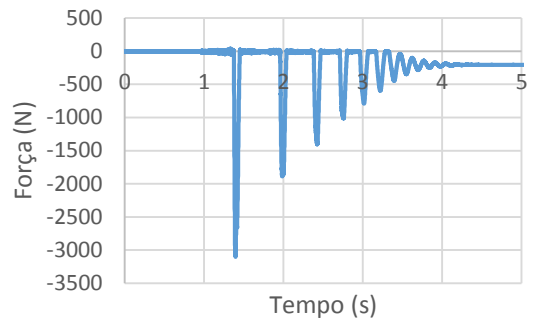


Gráfico H.0.10 - Força ponto 4 ensaio 5.

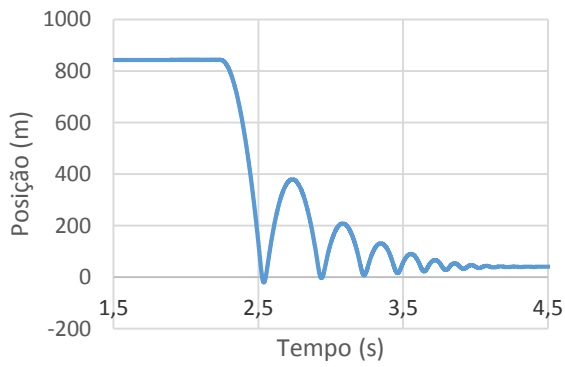


Gráfico H.0.8 - Deslocamento ponto 5 ensaio 5.

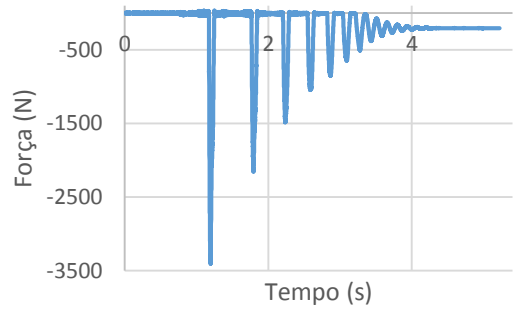


Gráfico H.0.11 - Força ponto 5 ensaio 5.

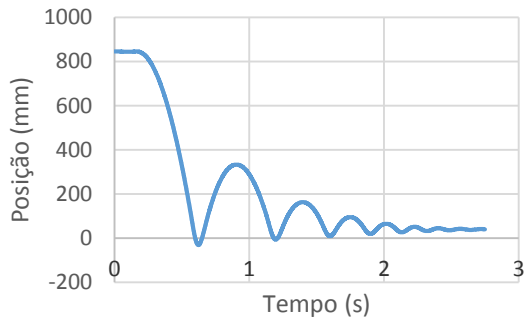


Gráfico H.0.9 - Deslocamento ponto 6 ensaio 5.

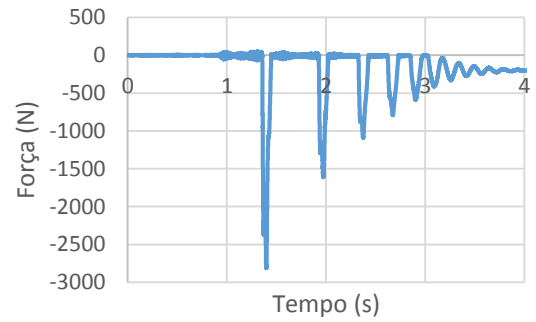


Gráfico H.0.12 - Força ponto 6 ensaio 5.

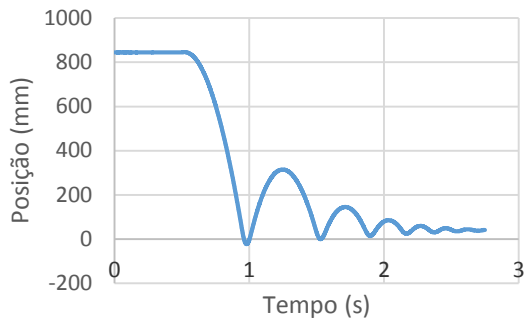


Gráfico H.0.13 - Deslocamento ponto 7 ensaio 5.

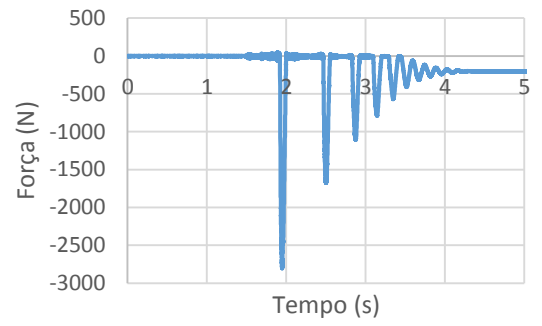


Gráfico H.0.16 - Força ponto 7 ensaio 5.

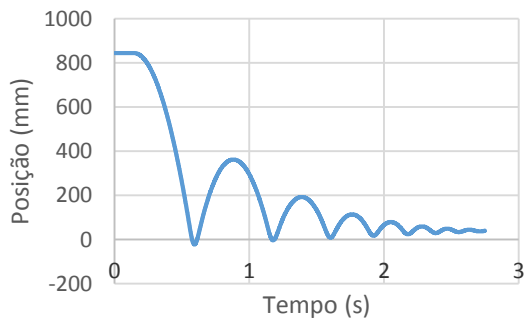


Gráfico H.0.14 - Deslocamento ponto 8 ensaio 5.

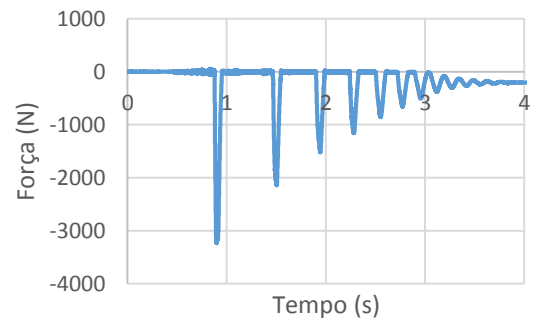


Gráfico H.0.17 - Força ponto 8 ensaio 5.

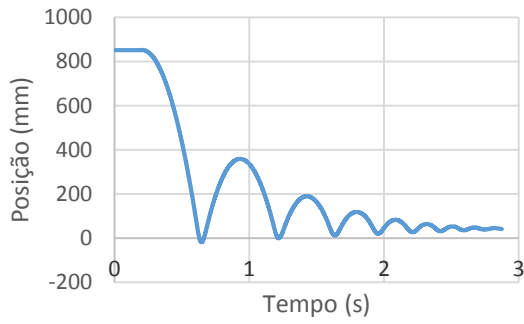


Gráfico H.0.15 - Deslocamento ponto 9 ensaio 5.

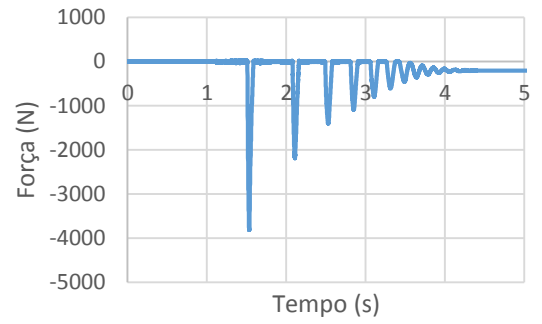


Gráfico H.0.18 - Força ponto 9 ensaio 5.

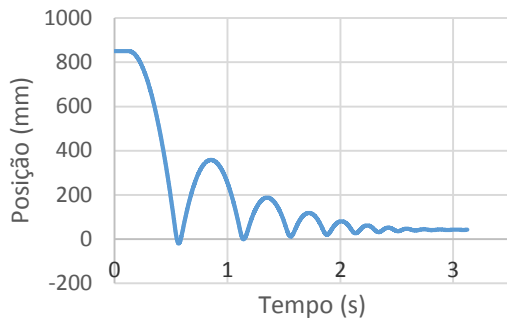


Gráfico H.0.19 - Deslocamento ponto 10 ensaio 5.

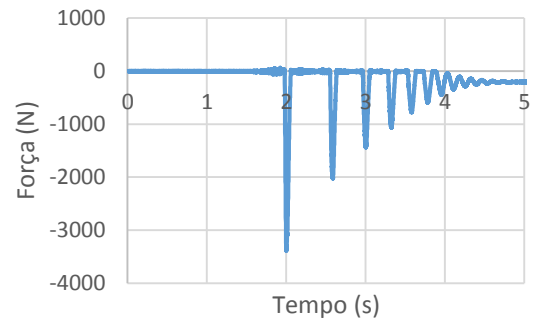


Gráfico H.0.22 - Força ponto 10 ensaio 5.

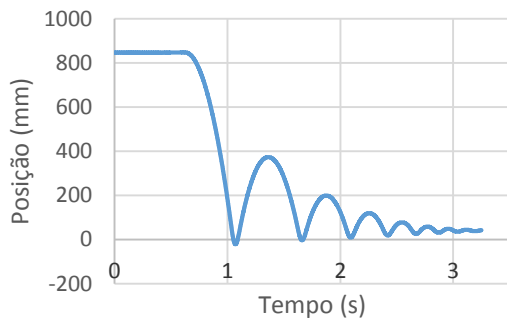


Gráfico H.0.20 - Deslocamento ponto 11 ensaio 5.

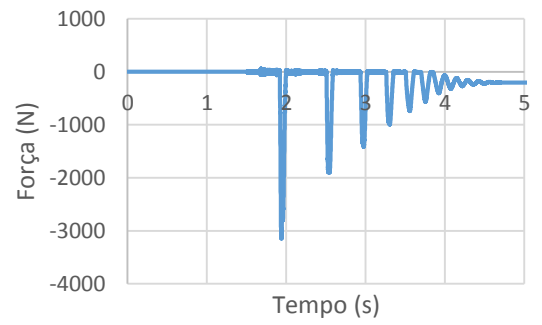


Gráfico H.0.23 - Força ponto 11 ensaio 5.

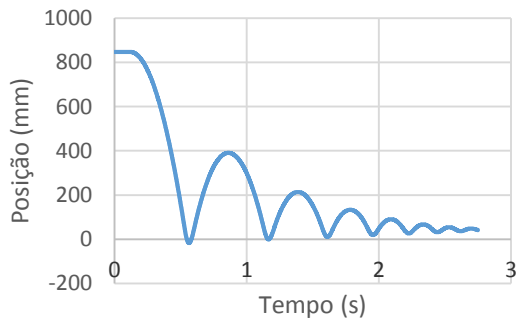


Gráfico H.0.21 - Deslocamento ponto 12 ensaio 5.

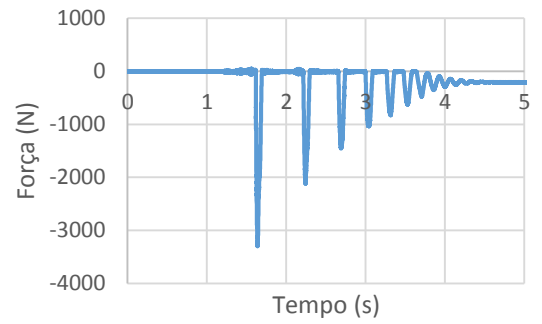


Gráfico H.0.24 - Força ponto 12 ensaio 5.

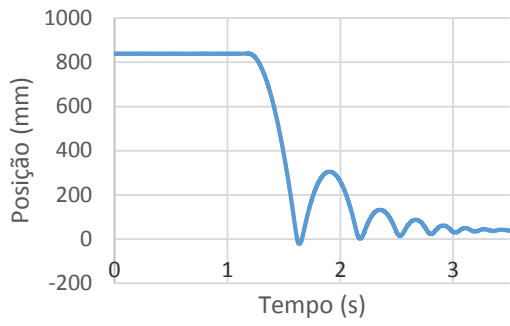


Gráfico H.0.25 - Deslocamento ponto 13 ensaio 5.

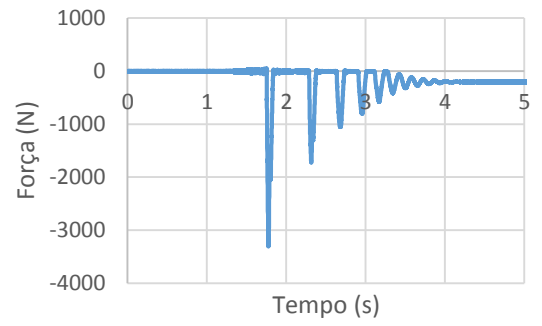


Gráfico H.0.28 - Força ponto 13 ensaio 5.

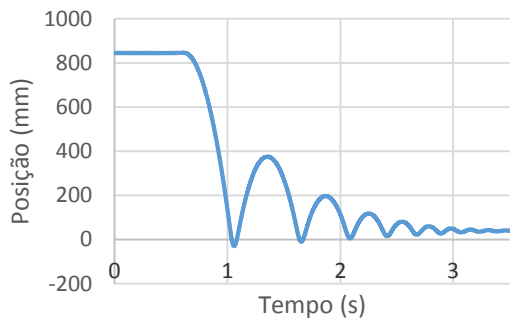


Gráfico H.0.26 - Deslocamento ponto 14 ensaio 5.

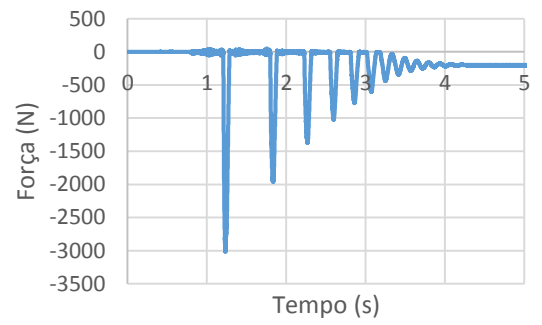


Gráfico H.0.29 - Força ponto 14 ensaio 5.

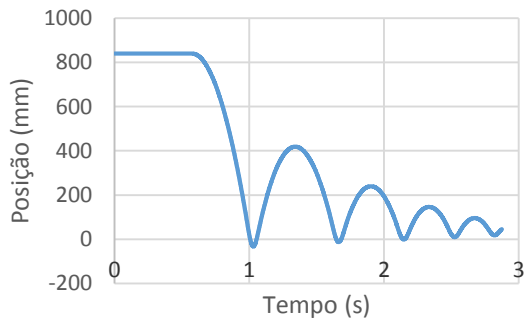


Gráfico H.0.27 - Deslocamento ponto 15 ensaio 5.

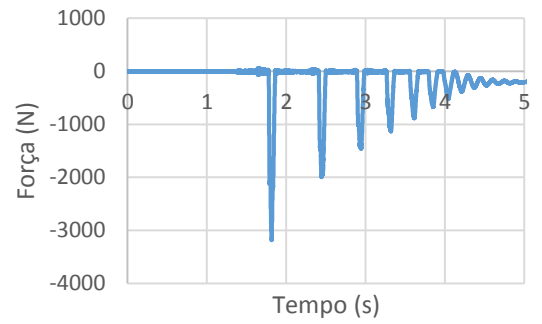


Gráfico H.0.30 - Força ponto 15 ensaio 5.

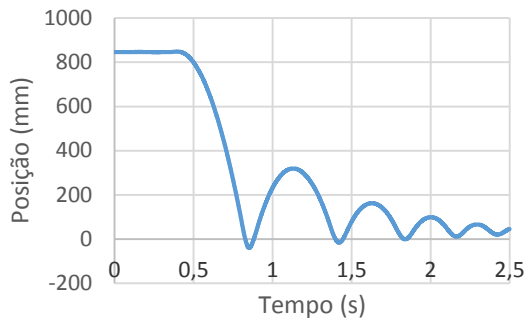


Gráfico H.0.31 - Deslocamento ponto 16 ensaio 5.

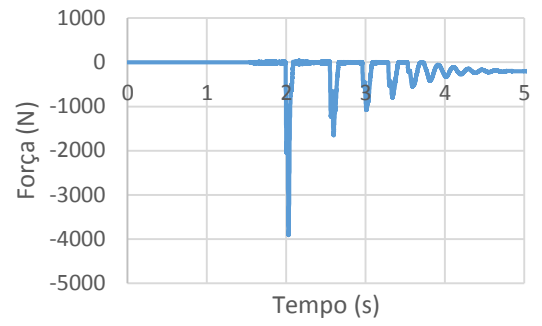


Gráfico H.0.34 - Força ponto 16 ensaio 5.

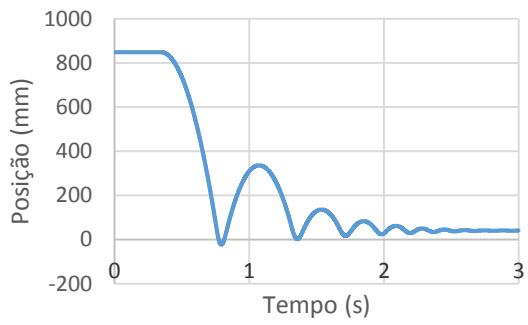


Gráfico H.0.32 - Deslocamento ponto 17 ensaio 5.

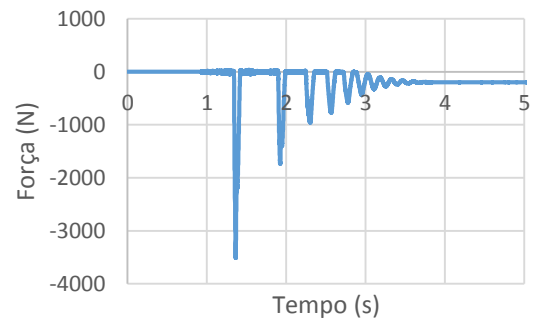


Gráfico H.0.35 - Força ponto 17 ensaio 5.

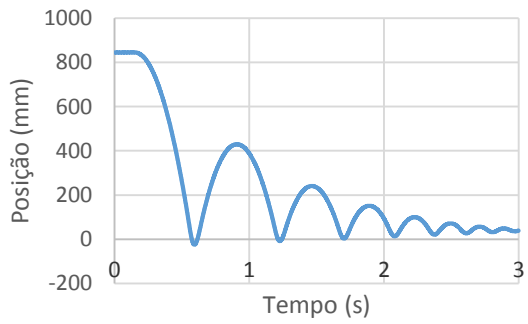


Gráfico H.0.33 - Deslocamento ponto 18 ensaio 5.

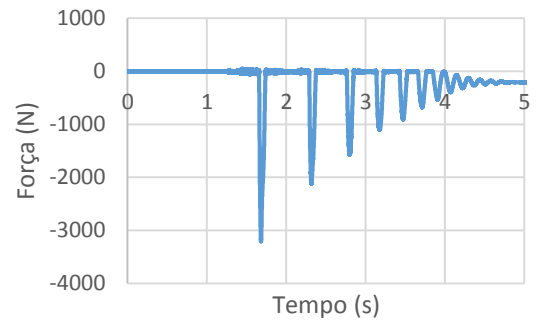


Gráfico H.0.36 - Força ponto 18 ensaio 5.