Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

Dispositivo biomecânico para reeducação postural em adolescentes

Projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Autor

Ângela Inês Catarino Pinheiro

Orientador

Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Roseiro

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Prof. Mestre Fernando Domingues Moita

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, maio, 2018

“Cause it's a bittersweet symphony this life”

The Verve

Agradecimentos

Ao Professor Doutor e Orientador Luís Manuel Ferreira Roseiro por toda a paciência e dedicação prestada ao longo deste percurso.

Ao Professor e Orientador Engenheiro Mestre Fernando Moita, por todo apoio prestado na parte da conceção do protótipo.

Ao aluno Fernando Melo, por toda a dedicação no desenvolvimento da parte eletrónica.

Ao meu amigo Tony Mendes, pela parceria no desenvolvimento da APP para tornar mais interativo o protótipo.

À Engenheira Mestre Linda Pinto, pelo carinho e amizade prestada ao longo desta caminhada.

Ao meu Tio Vitalino, que mesmo não estando mais presente, sempre foi a minha inspiração e força para levar este projeto até ao fim.

Aos meus pais especialmente à minha mãe Maria por ser tão boa ouvinte, conselheira e amiga, avó e tia pelo amor, incentivo e dedicação.

Ao meu Duarte, pela paciência prestada e apoio nos momentos mais complicados.

Aos meus amigos de faculdade pelo apoio neste percurso académico.

À minha entidade laboral, pela disponibilidade e cedência demonstrada para desenvolvimento deste projeto.

E a mim porque nunca desisti.

Resumo

O transporte de objetos escolares em mochila é uma atividade diária que envolve jovens numa fase de desenvolvimento do seu sistema músculo-esquelético. Os estudos recentes têm identificado situações de transporte exagerado de carga relativamente ao peso corporal do utilizador com um incorreto posicionamento da mochila e distribuição da força. Assim, a sociedade tem vindo a assistir a um conjunto de alertas quanto à utilização da mochila por alunos em idade escolar, nomeadamente quanto à necessidade de implementar metodologias que previnam o transporte de peso exagerado e garantam que o aluno mantenha um ajuste adequado na mochila. É neste contexto que se apresenta o Emoji BackPack, um protótipo de mochila que permite a avaliação do peso presente na mochila, através de sensores colocados nas alças. O protótipo permite também a identificação da distribuição do peso pelas zonas de ancoragem da mochila ao utilizador e incorpora uma interface interativa com o utilizador através da interseção de um jogo com *Emojis*, desenvolvido numa linha de reeducação postural. Os resultados funcionais ao protótipo demonstram a sua viabilidade.

Palavra Chave: Lesões Músculo-Esqueléticas; Adolescência; Investigação, Protótipo, *Emojis*, Sensores Piezoresistivos, Postura, Patologias

Abstract

The transport of school related objects in backpacks is a daily activity that involves young people in the development stage of their musculoskeletal system. Recent studies have identified excessive transport load situations relating to the user's body weight with an incorrect positioning of the backpack and force distribution. Thus, society has been witnessing a series of warnings about the use of backpack for students of young age, particularly on the need to implement methodologies to prevent the excessive weight transport and ensure that the student keeps a proper adjustement in the backpack. It is in this context that the Emoji Backpack is presented, as a backpack prototype that allows weight assessment on the backpack itself, through sensors placed on the straps. The prototype also allows the weight distribution of the pack to be identified on the fixation zones and includes an interactive user interface through the intersection of a Emojis game developed for postural reeducation.The functional results to the prototype demonstrate it's viability.

Keywords: Musculoskeletal injuries; Adolescence; Research, Prototype, Emojis, Piezoresistive Sensors, Posture, Pathologies

Índice

RESUMO ..... **I**
ABSTRACT ..... **III**
ÍNDICE ..... **V**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **VII**
ÍNDICE DE TABELAS ..... **IX**
LISTA DE ABREVIATURAS ..... **XI**
1. INTRODUÇÃO **1**
2. LOCOMOÇÃO HUMANA E POSTURA DINÂMICA **5**
2.1. Referenciais aplicados no contexto anatómico 5
2.2. Postura estática e postura dinâmica 6
2.3. Ciclo de marcha 8
2.4. Sistema Músculo-Esquelético 10
2.5. Coluna Vertebral 12
2.5.1. Lordose 13
2.5.2. Cifose 14
2.5.3. Escoliose 15
2.6. Lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho 16
2.7. Lesões músculo-esqueléticas na adolescência no contexto da mala escolar 17
3. A MOCHILA- EMOJI BACKPACK **21**
3.1. O estado da arte 21
3.2. Self- weighting backpack with notification features 22
3.3. Weighing Devices 23
3.4. Backpack equipped with a weight-measuring device 23
3.5. Wheighable Schoolbag 23
3.6. Weight determining mechanism for a backpack or other luggage 23
3.7. Ibackpack : The next generation 24
3.8. O conceito do Emoji BackPack 24
3.9. Desenvolvimento do protótipo-Materiais e métodos aplicados 26
3.10. Materiais utilizados – Velostat, Folha de cobre e fita de cobre adesiva 26
3.11. Partes integrantes do protótipo 27
3.12. Unidade de Processamento- Árduino 28
3.13. Acelerómetro 28
3.14. Sensores Piezoresistivos 29
3.15. Conceito de Piezoresistividade 29
3.16. Construção dos sensores piezoresistivos 31
3.17. Testes Mecânicos -processo de calibração 32
3.18. Calibração com a mesma gama de pesos de modo a verificar o comportamento homogéneo de cada sensor 32
3.19. Sensor 1 34
3.20. Sensor 2 35

3.21. Sensor 3 35
3.22. Sensor 4 36
3.23. Sensor 5 37
3.24. Sensor 6 38
3.25. Comparação de resultados entre os seis sensores 39
3.26. Calibração dos sensores piezoresistivos- influência da área e posição 40
3.27. Sensor 1- Área de 2.6 cm^2 41
3.28. Sensor 2- Área de 4 cm^2, ... 42
3.29. Sensor 3- Área de 3 cm^2 43
3.30. Calibração com recurso a base retangular- cinco posições diferentes 43
3.31. Calibração com utilização de base circular 47
3.32. Calibração da alça contendo sensores piezoresistivos 51
3.33. Testes funcionais do protótipo 54
3.34. Informação sobre as voluntárias 54
3.35. Teste em caminhada com as duas alças 55
3.36. Teste em caminhada com uma alça 57
4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS 61
5. BIBLIOGRAFIA 63
6. ANEXOS 65
6.1. Aquisição de valores adimensionais por parte da interface Árduino-Sensor 65
6.2. Valores Reativos Tendo em conta Área e base de calibração 71
6.3. Variação de Posições e Formatos de Sensores 74
6.4. Analise de 6 Sensores de Alças com Variação de Peso de Carga 104
6.5. Tratamento de dados da alça com sensores piezoresistivos 122
6.6. Valores do teste funcional 126
6.6.1. Utilizadora- 10 anos- Teste com o conjunto alças 126
6.6.2. - Voluntária- 10 anos- Teste com uma alça 127
6.7. Voluntária -13 anos- gráficos 126
6.7.1. Percurso recorrendo a uma só alça 126
6.7.2. Percurso com recurso ao conjunto das alças 126

Índice de Figuras

Figura 1-Planos de referência anatómica. ' 5
Figura 2-Evolução da postura no Homem. 6
Figura 3-Avaliação postural: (a e b) Peso na alça esquerda e direita em equilíbrio, sem desvios angulares em relação ao plano sagital e lateral; (c) Mochila com excesso de carga e aparecimento de elevada inclinação em relação ao plano sagital. (Pinheiro *et al.* 2017) 7
Figura 4-Comportamento postural incorreto; (a) distribuição assimétrica da carga pelas duas alças em que não existe ajuste entre elas com aumento da inclinação lateral; (b) Transporte numa só alça também com aumento da inclinação lateral (Pinheiro *et al*. 2017) 8
Figura 5 - Fases do ciclo de marcha (Completo & Fonseca, 2011) 9
Figura 6 - Classificação dos músculos. 10
Figura 7- Diversos tipos de músculos no contexto de fisiológico e histológico' ' 11
Figura 8- Vértebras constituintes da coluna vertebral 12
Figura 9- Escoliose, cifose e lordose.' ' 13
Figura 10- Curva lordótica normal e curva hiperlordótica. 14
Figura 11- Esquema ilustrativo da inclinação da coluna vertebral até ao aparecimento da patologia cifose 15
Figura 12- Diferentes perspetivas das curvas escolióticas 16
Figura 13-- Valores relativos à presença de dor com a influência do tempo em que os inquiridos se encontravam com o saco escolar (Barros, 2008) 19
Figura 14- Esquema do protótipo desenvolvido com a inserção do lcd na parte posterior da mochila. 24
Figura 15- Emojis envolvidos no processo de reeducação conseguido através do Emoji BackPack 25
Figura 16- Unidade de processamento eletrónico posicionada na parte interior da mochila de modo a ser impercetível. 26
Figura 17- Velostat e Folha de cobre. 27
Figura 18- Árduíno Mega 2560 28
Figura 19- Materiais utilizados na construção dos sensores piezoresistivos. 31
Figura 20- Projeto inicial da construção dos sensores piezoresistivos. 31
Figura 21- Construção dos sensores ((Kalantari, Dargahi, Kovecses, Ghanbari, & Nouri)). 32
Figura 22- Relação entre grandezas: (a) Não-linearidade entre resistência e força;(b) Linearidade entre condutância e força. (Kalantari, Dargahi, Kovecses, Ghanbari, & Nouri) 33
Figura 23- Comportamento do sensor 1 34
Figura 24- Comportamento sensor 2. 35
Figura 25- Comportamento sensor 3 36
Figura 26- Valores obtidos da condutância em função da força. 37
Figura 27- Valores da condutância em relação á força exercida. 38
Figura 28- Valores da condutância em função da força 39
Figura 29-Valores da condutância em relação aos seis sensores como mesma gama de valores de força exercida 40
Figura 30- Pontos para calibração dos sensores 41
Figura 31 - Comportamento do sensor de área 2.6 cm^2. 41
Figura 32- Comportamento do sensor 2 com área de 4 cm^2 42
Figura 33- Valores de condutância em relação à carga exercida para o sensor de 3 cm^2. 43
Figura 34- Inter-comparação de valores relativos ao desempenho da aquisição de dados em diferentes posições do sensor 1 utilizando uma base retangular. 45
Figura 35 - Valores de resistência adquirida em 5 posições diferentes utilizando uma calibração de base retangular. 46

Figura 36 - Valores de condutância adquiridos no sensor 3 usando como calibração uma base retangular. 47
Figura 37- Sensor 1- Calibração com base circular 48
Figura 38- Sensor 2- Calibração recorrendo a base circular 49
Figura 39- Valores de resistência das 5 posições adquiridos no processo de calibração circular. 50
Figura 40- Alça contendo sensores piezoresistivos. 51
Figura 41 - Comportamento da alça na aquisição de dados relativamente aos sensores abrangidos. 53
Figura 42- Apresentação do protótipo à utilizadora de 10 anos. 55
Figura 43- Aquisição de dados ao longo de um percurso de caminhada. 56
Figura 44- Valores relativos à inclinação postural formada aquando o transporte de carga no protótipo. 57
Figura 45- Teste funcional relativo ao processo de caminhada numa só alça. 58
Figura 46- Estudo da inclinação provocado por o transporte da carga com uma alça só. 58
Figura 47- Posicionamento de sensores na alça 59
Figura 48- Gráfico relativo à voluntária na faixa etária de 13 anos. 60
Figura 49- Layout do jogo criado da EmojiBackPack 62

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Descrição sucinta do que existe no mercado relacionado com o protótipo (Pinheiro et al., 2017)..... 22
Tabela 2- Valores relativos ao sensor 1..... 34
Tabela 3- Valores obtidos de resistência em função da força exercida..... 35
Tabela 4- Valores de resistência em função da força exercida..... 36
Tabela 5- Valores da resistência em função da força exercida..... 36
Tabela 6- Valores de força e média da resistência adquirida..... 37
Tabela 7- Valores da resistência em função da força..... 38
Tabela 8- Valores da força e média da resistência adquirida no sensor de área de 2.6 cm^2..... 41
Tabela 9- Valores de resistência e condutância para o sensor de 4 cm^2..... 42
Tabela 10- Valores de força e média das resistências e condutâncias para o sensor de 3 $cm^{2.}$..... 43
Tabela 11- Valores das médias das condutâncias nas cinco posições para o sensor 1 (sensor de área 2.6 $cm^{2)}$..... 44
Tabela 12- Valores de condutância média em cinco posições diferentes para o sensor 2, utilizando uma base retangular na calibração..... 45
Tabela 13- Valores médios da resistência em cinco posições diferentes no sensor 3 utilizando como calibração uma base retangular..... 46
Tabela 14- Valores de calibração com base circular no sensor 1..... 48
Tabela 15- Valores de condutância para o sensor 2 na calibração com base circular..... 49
Tabela 16- Valores de resistência adquirida em 5 posições no sensor 3 recorrendo a calibração de base circular..... 50
Tabela 17- Valores de resistência após tratamento de dados..... 52
Tabela 18-Valores de condutânciaem relação aos seis sensores da mochila..... 52
Tabela 19- Inquérito realizado às duas utilizadoras..... 54

Lista de Abreviaturas

LMERT- Lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho

INPI- Instituto Nacional de Protecção Industrial

EPO- European Patent Office

WIPO- World Intellectual Property Organization

OMS- Organização Mundial de Saúde

RFID- Radio Frequency Identification

MEMS-Microelectromechanical Systems

1. Introdução

As atividades do quotidiano envolvem um conjunto de tarefas com intervenção dos vários sistemas do corpo humano. No caso particular do sistema músculo-esquelético, são várias as atividades diárias em que se deve ter toda a atenção, de modo a prevenir o aparecimento de sequelas que possam evoluir para problemas de saúde. Normalmente as atividades relacionadas com o aparecimento deste tipo de sequelas estão relacionadas com o trabalho. Contudo, diversos comportamentos associados à biomecânica ocupacional podem-se relacionar com lesões ao nível do sistema músculo-esquelético. Por exemplo, as posturas inadequadas, em qualquer tipo de idade, são uma situação comum, seja quando se está em posição de descanso, com uma postura estática inadequada ou quando a atividade envolve o movimento e transporte de objetos de utilização comum. Neste domínio em particular, pode-se enquadrar o transporte de objetos em mochilas, como por exemplo os livros, cadernos, computador, entre outros.

Ora, esta situação é habitual em todos os alunos em idade escolar. No entanto, tem-se assistido a um importante debate de como ajustar o comportamento dos alunos relativamente à utilização da mochila escolar, dado que é um objeto importante no contexto das suas atividades diárias, mas que habitualmente contém peso em exagero. A sociedade tem assistido recentemente a um conjunto de alertas quanto à utilização da mochila por alunos em idade escolar, em associação com a escola, nomeadamente quanto à necessidade de precaver tanto o transporte de peso exagerado como de garantir que o aluno mantenha um ajuste adequado na mochila.

Este conjunto de alertas têm motivado o aparecimento de estudos por grupos de investigação, tanto no contexto de identificação social do problema como em aspetos relacionados com a biomecânica desta atividade ocupacional. A OMS (Organização Mundial de Saúde) alerta para este problema, em particular quanto ao peso máximo a transportar pelos utilizadores, referindo que não se deve ultrapassar 10 % da sua massa corporal. (Souza, 2016) Ao encontro desta posição tomada pela OMS, Hong e Cheung (2002) conduziram um estudo com um grupo de voluntários em idade escolar, verificando que quando a carga transportada pelas crianças era superior a 15% da sua massa corporal, era exercida uma compensação com inclinação para a frente da parte torácica de modo a compensar o esforço que está a ser exercido com o transporte

da carga. O estudo regista que a presença dessa inclinação anormal do plano sagital contribui para o surgimento de dores na zona dorso-lombar e na região dos ombros, apontando os 10% como limite de carga a transportar. (Hong & Cheun, 2002).

Em Portugal, decorreu em 2017 uma petição online[1] para acabar com o peso excessivo das mochilas. Segundos dados da Deco Proteste[2], num estudo efetuado numa amostra de 174 alunos do 2º ciclo, 66% transportavam carga excessiva em relação aos 10% estabelecidos como valor seguro pela OMS.

Com a evolução tecnológica, houve a necessidade de desenvolver novos dispositivos com capacidade de prevenção no que diz respeito às patologias associadas ao sistema músculo-esquelético. A faixa etária onde é necessária maior intervenção em relação ao aspeto da reeducação postural é na adolescência, faixa etária caracterizada pelo acentuado desenvolvimento ao nível do crescimento ósseo e muscular.

Perante a identificação do problema, e na sequência da recente evolução tecnológica, tanto ao nível dos materiais como dos processos de fabrico tanto de componentes mecânicos como de componentes electrónicos, têm-se desenvolvido várias ideias e conceitos.Contudo, a maioria destes produtos tem sido direcionada para o ajuste da mochila ao utilizador, e as mochilas identificadas com características de monitorização do peso, pese embora consigam identificar a massa transportada, não interagem com o utilizador numa perspetiva educacional.

Assim, é neste contexto que surge o desenvolvimento do trabalho de projeto que se apresenta, uma mochila com características de biofeedback, designada por Emoji BackPack, e que pretende contribuir positivamente para o trabalho de prevenção e reeducação de jovens em idade escolar. O protótipo que se apresenta foi desenvolvido na sequência dos trabalhos em curso, no âmbito da tese de mestrado em engenharia e gestão industrial. Pese embora os trabalhos iniciais tenham envolvido a quantificação de parâmetros dimensionais para avaliação e prevenção da postura corporal em contexto escolar, num alinhamento de gestão e

[1] http://peticaopublica.com/pview.aspx?pi=PT84219 acedido em 10 de Dezembro de 2017
[2] https://www.deco.proteste.pt/familia-consumo/bebes-criancas/noticias/2017/mochilas-escolares-com-peso-a-mais acedido em 10 de Dezembro de 2017

operacionalização de metodologias, a identificação deste problema e limitação atual conduziu ao interesse pela conceção do protótipo que se apresenta.

O desenvolvimento da Emoji BackPack permitiu aplicar um conjunto de metodologias e adquirir um grupo de competências relevantes no contexto do mestrado em engenharia e gestão industrial. A Emoji BackPack, protótipo ainda em fase experimental, implementa um conjunto de metodologias que vão em acordo ao que o utilizador-chave pretende, estando alinhado com o interesse pela tecnologia atual. A mochila permite a interação com o utilizador, através do desenvolvimento de um Serious Game, com características inovadoras, implementado através de emojis. O conjunto de emojis permite percecionar de uma forma pedagógica e apelativa, o transporte com carga excessiva, alertando o utilizador de que aquela não será a opção mais correta, oferecendo assim uma interface lúdica e reeducativa ao utilizador.

Tendo em conta a importância do protótipo desenvolvido, no seguimento da introdução que se apresenta, procede-se no capítulo 2 a um enquadramento de alguns aspetos que envolvem anatomia humana associada à utilização da mochila, em particular quanto à locomoção e ao comportamento postural.

No capítulo 3 é feita uma descrição da pesquisa efetuada quanto às mochilas escolares existentes no mercado ou protegidas sob forma de patente ou modelo de utilidade, em particular as que envolvem instrumentos de avaliação e monitorização carga em transporte, bem como descrição do Emoji BackPack e os testes procedentes para a sua validação.

Finalmente, no capítulo 4 apresentam-se as conclusões a retirar deste trabalho de projeto, assim como os desenvolvimentos futuros.

2. Locomoção Humana e Postura Dinâmica

A motivação principal deste trabalho envolve a contribuição para a melhoria do comportamento postural, em particular nos jovens em idade de utilização de mochila escolar. Considera-se relevante proceder a um enquadramento ao nível da biomecânica da locomoção humana, assim como da postura corporal, sendo aqui apresentados os principais conceitos e definições.

2.1. Referenciais aplicados no contexto anatómico

De modo a facilitar a caracterização de aspetos funcionais relacionados com a anatomia humana, o corpo pode ser imaginariamente dividido em três planos, com origem no centro de massa, nomeadamente plano sagital, plano coronal ou frontal e plano axial. O Plano Sagital divide o corpo humano em duas metades simétricas (parte direita e parte esquerda), sendo descrito como o plano que atravessa a coluna vertebral ao meio. O plano coronal ou frontal é o que atravessa o corpo humano num ângulo formado entre o sacro e a quinta vértebra lombar. O plano axial ou horizontal é o que é caracterizado por uma divisão em parte superior e parte inferior, sendo posicionado ao nível do osso sacro (Pina, 2010). A figura 1 permite identificar visualmente esta subdivisão através de planos.

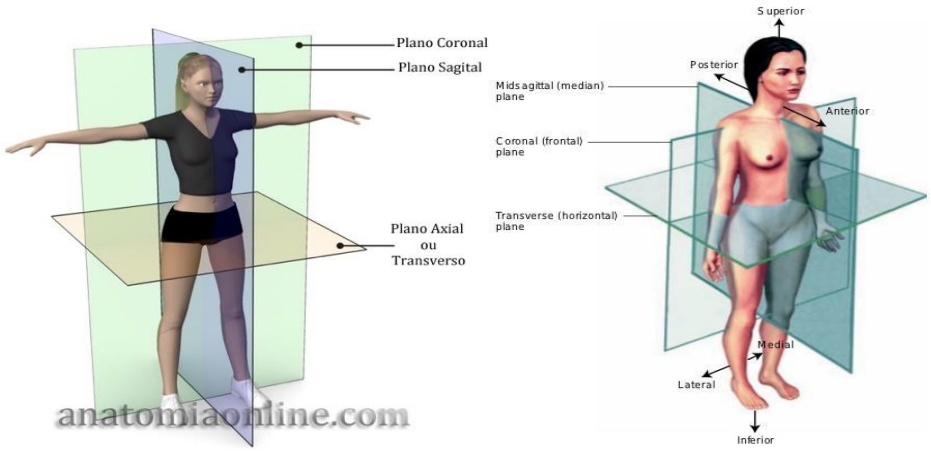


Figura 1-Planos de referência anatómica.[3] [4]

[3] http://anatomiaonline.com/ acedido em 12 de Agosto de 2017
[4] (http://body-disease.com/planes-of-the-body/)

2.2. Postura estática e postura dinâmica

Desde a evolução do Homem dos tempos ancestrais até ao presente, a postura corporal é um importante domínio de estudo. Postura deriva do termo em latim "*positura*"[5], estando biomecanicamente associada à posição assumida por um indivíduo, nomeadamente quanto ao posicionamento das várias partes do seu corpo. Kendal (1995) define postura como a contribuição que os elementos do corpo humano assumem, tanto em repouso como em movimento (Comerlato, 2007). Assim, a postura corporal pode ser dividida em dois domínios: postura dinâmica, quando o indivíduo se encontra em movimento e postura estática, quando o indivíduo não exerce movimento, exercendo apenas o peso correspondente à massa do seu corpo (Minhoto, 2013). Na figura 2 é possível visualizar a evolução da postura desde o início da Humanidade até ao momento presente.

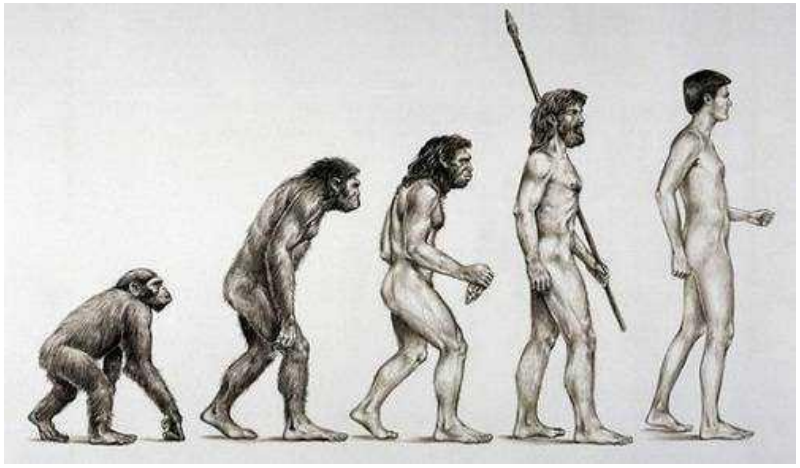


Figura 2-Evolução da postura no Homem.[6]

Além da coordenação motora, a postura desempenha um papel de estabilização e suporte para todo o esqueleto humano. É considerado postura correta aquela em que existe uma distribuição equilibrada do esforço por toda a envolvente do corpo humano (ossos, ligamentos, músculos,etc.), e em que esteja implícito o menor gasto de energia. (Comerlato, 2007).

A postura dinâmica refere-se ao movimento do corpo humano em atividades do quotidiano. A biomecânica desempenha um papel fundamental para efetuar o estudo do movimento,

[5] https://conceito.de/postura acedido em 9 de Dezembro de 2017
[6] (https://www.zun.com.br/homo-sapiens-e-homo-erectus/)

englobando vários aspetos como o tipo de movimento que se está a desempenhar, ou mesmo a cinética do mesmo.

No trabalho que se apresenta, que envolve o transporte de carga com uma mochila, a postura dinâmica é a situação mais comum e relevante.

A figura 3 (a e b) onde P_E e P_D representam o peso da alça esquerda e alça direita respetivamente, demonstra o que acontece ao nível da postura estática quando existe uma distribuição simétrica pelas duas alças da mochila, em relação à inclinação efetuada no plano lateral e sagital. Como é notório, a distribuição da carga é feita de maneira equitativa pelas duas alças realçando assim um comportamento postural correto. Quando existe o transporte de uma carga excessiva na mochila escolar, mesmo que o ajuste ao nível das alças esteja similar, existe uma inclinação do plano sagital (figura 3 c), levando a uma má postura corporal com inclinação da parte torácica para a parte frontal do corpo humano.

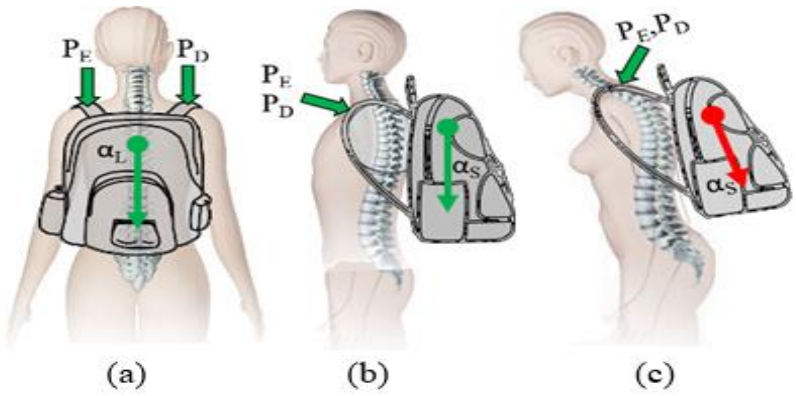


Figura 3-Avaliação postural: (a e b) Peso na alça esquerda e direita em equilíbrio, sem desvios angulares em relação ao plano sagital e lateral; (c) Mochila com excesso de carga e aparecimento de elevada inclinação em relação ao plano sagital. (Pinheiro *et al.* 2017)

A figura 4 (a e b) onde P_E e P_D representam o peso da alça esquerda e alça direita respetivamente, demonstram o comportamento postural incorreto quando existe um transporte de carga excessiva sem compensação no ajuste das alças. Como se pode visualizar, este desajuste revela uma assimetria de distribuição de carga ao longo da alça direita e esquerda. Com a presença da assimetria o utilizador irá ter uma inclinação no plano lateral influenciando assim o seu comportamento postural de maneira negativa.

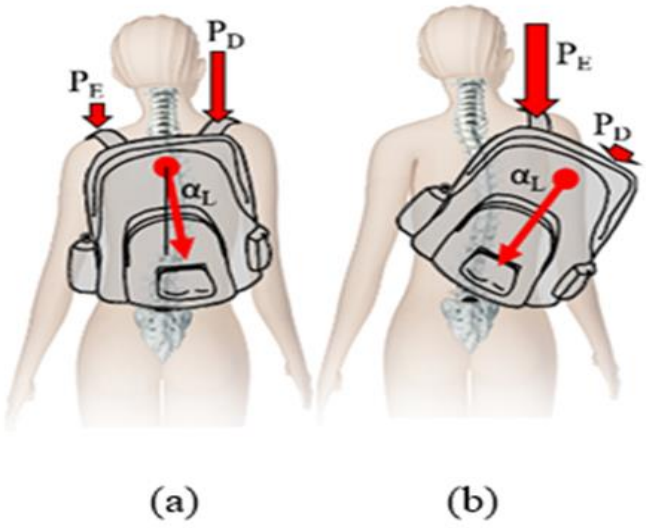


Figura 4-Comportamento postural incorreto; (a) distribuição assimétrica da carga pelas duas alças em que não existe ajuste entre elas com aumento da inclinação lateral; (b) Transporte numa só alça também com aumento da inclinação lateral (Pinheiro *et al.* 2017)

No que toca a postura dinâmica, o transporte de carga excessivo (ou seja, carga superior a 10 % a massa corporal do utilizador) vai ter o mesmo impacto ao nível da postura, ou seja, influência a mesma de maneira negativa. A nível de movimentação do utilizador este poderá ficar mais condicionado devido ao aparecimento de dor, em várias zonas (dorso lombar, costas e ombros), devido ao esforço que o corpo humano está a fazer para corrigir o desequilíbrio que a carga excessiva provoca.

2.3. Ciclo de marcha

O movimento humano sempre foi uma incógnita para o Homem. Diversos estudos indicam que o ser humano começou a ser bípede há cerca de três milhões de anos (Completo & Fonseca, 2011). Borelli (1989) publicou um trabalho intitulado "*De Motum Animalum*", tendo abordado diversos movimentos em animais, correlacionando-os com as equações associadas às leis da física, que impulsionaram o desenvolvimento de estudos quanto à biomecânica do ciclo da marcha (Completo & Fonseca, 2011).

De acordo com Completo e Fonseca (2011), o ciclo de marcha pode ser dividido em diversas etapas, tal como se representa na figura 5. Nesta figura visualiza-se que o ciclo de marcha está dividido em duas fases distintas: a fase de apoio e a fase de balanço.

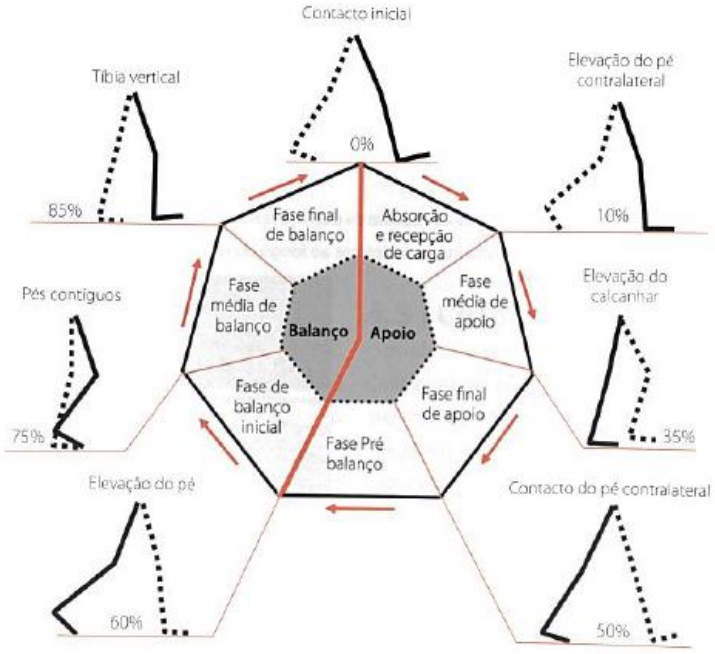


Figura 5 - Fases do ciclo de marcha (Completo & Fonseca, 2011)

De acordo com a interpretação da figura 5, o ciclo de marcha é divido em duas fases fulcrais : a fase de apoio e a fase de balanço. A fase de apoio é caracterizada por preencher o ciclo de marcha em 60% e é a fase que permite a estabilidade para a distribuição da massa corporal do indíviduo. O ínicio desta fase é caracterizado pelo contato exercido com o calcanhar no solo, sendo depois o apoio total efetuado pelo contato do calcanhar e a zona dianteira até que o calcanhar entra em suspensão. A fase de balanço (corresponde aos outros 40 %) ocorre logo após a conclusão da fase de apoio, sendo identificada como uma fase de impulso ou ataque. Esta denominação é relativamente ao membro inferior se encontar em suspensão devido a já não existir um contato do pé com a superfície e anteceder de novo a fase de apoio.

2.4. Sistema Músculo-Esquelético

O sistema músculo-esquelético interage em simbiose entre dois sistemas multifacetados do corpo humano: o sistema muscular e o sistema esquelético (Completo & Fonseca, 2011). O sistema músculo-esquelético está associado à locomoção do ser humano, estabilidade postural e graus de liberdade no movimento.

Ao referir sistema músculo-esquelético, importa esclarecer que o seu funcionamento em pleno existe devido à interligação entre ossos, músculos e articulações. É devido à existência desta interligação dos três componentes anatómicos que é possível ao ser humano andar, ter perceção do que o rodeia bem como executar movimentos. Para uma melhor compreensão do sistema músculo-esquelético é necessário proceder a uma abordagem resumida ao sistema neuromuscular, visto ser necessária a intervenção de uma mensagem nervosa ou de um estímulo para que haja uma atuação. Esta intervenção nervosa regista-se ao nível muscular, devido ás capacidades intrínsecas dos músculos (Marquesan, 2012).

O corpo humano é composto por 637 músculos, sendo que no contexto da miologia (parte da anatomia que estuda os músculos) estes se podem dividir em três grupos: músculos involuntários de contração lenta, músculos involuntários de contração rápida e músculos voluntários de contração rápida. (Pina, 2010). No diagrama da figura 6, identifica-se a classificação dos músculos em relação ao seu contexto histológico e fisiológico.

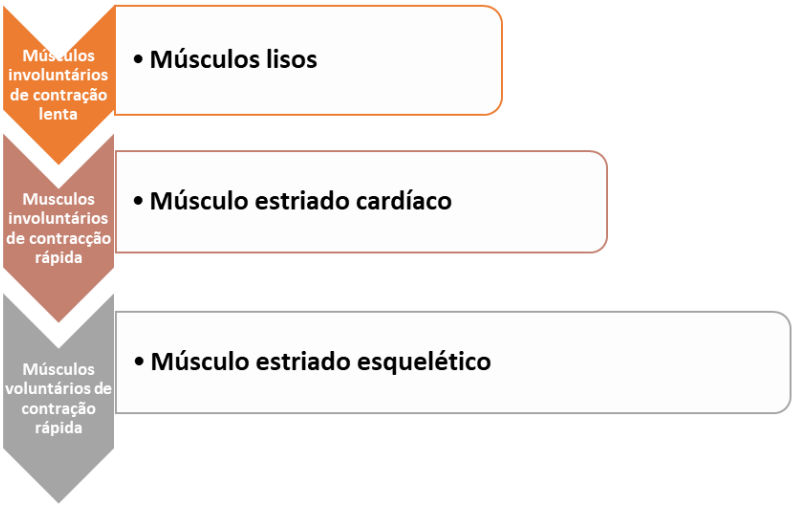


Figura 6 - Classificação dos músculos.

Em relação ao sistema músculo esquelético, o único grupo muscular que se enquadra é o dos músculos voluntários de contração rápida onde no contexto fisiológico e histológico refere-se o músculo estriado esquelético. É de salientar que os músculos têm quatro funções intrínsecas, que além do suporte estrutural, pode-se destacar a elasticidade, o tónus muscular, a contratilidade e a excitabilidade (Pina, 2010). Na figura 7 estão presentes visualmente os três tipos de músculos retratados neste subcapítulo.

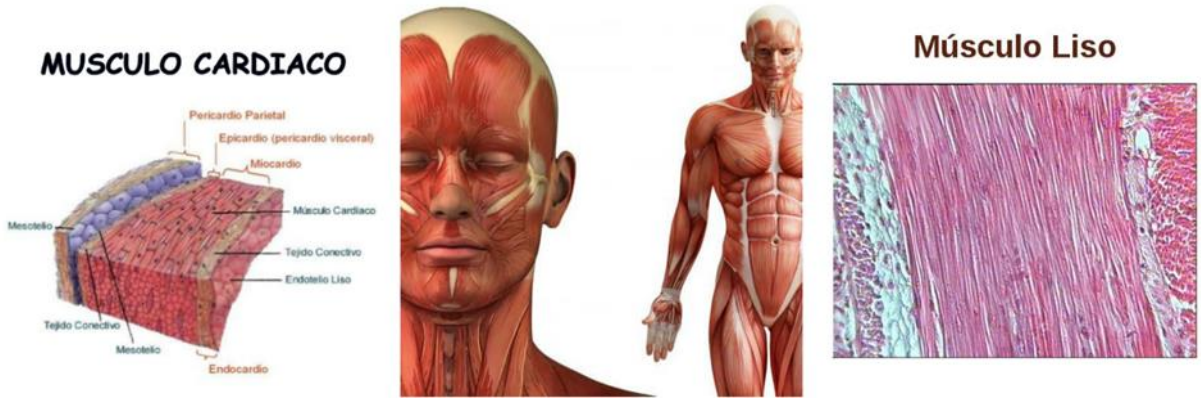


Figura 7- Diversos tipos de músculos no contexto de fisiológico e histológico[7, 8, 9]

Tanto os ossos como os músculos têm um papel importante no contexto da locomoção humana. O sistema esquelético é essencial no que diz respeito à ação de suporte e de distribuição de cargas, sendo este constituído por 206 ossos agrupados em seis grandes grupos: ossos arqueados, alongados, largos, radiários, longos e curtos (Pina, 2010).

[7] https://pt.slideshare.net/karlaisabelmartinezpinto/musculo-liso-31010175)
[8] https://pt.slideshare.net/Danielaestremorpino/diapositivas-musculo-cardiaco
[9] https://curiosoando.com/contraccion-del-musculo-esqueletico)

2.5. Coluna Vertebral

A coluna vertebral no contexto de estudo para o desenvolvimento deste protótipo, é um dos elementos anatómicos a ter mais em conta. A coluna vertebral desempenha um papel crucial no que diz respeito ao processo de locomoção humana, bem como a nível postural. A coluna tem um papel protetor no que diz respeito à medula espinal, muito importante no contexto em estudo deste projeto, que após a receção da mensagem nervosa em relação a diversos aspetos como por exemplo tensão muscular ou mesmo controlo do músculo, a mesma reencaminha informação necessária ao cérebro para regularizar a situação (Barros, 2008). No que diz respeito a osteologia da coluna vertebral, esta é formada e consolidada através da divisão em quatro zonas: cervical, torácica, lombar e sacro-coccígea. Na figura 8 representa-se esquematicamente a constituição da coluna vertebral, identificando-se 7 vértebras cervicais, 12 vértebras torácicas, 5 vértebras lombares e 5 vértebras formadas pelo sacro. Devido ao aspeto arredondado das vértebras e dos diferentes componentes constitucionais da coluna vertebral, esta não apresenta um aspeto retilíneo, mas sim curvo. (Pina, 2010).

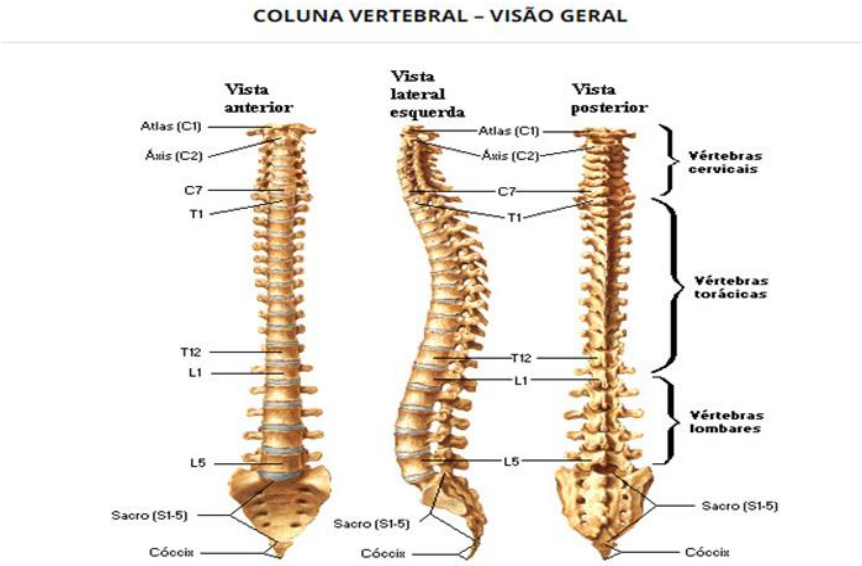


Figura 8- Vértebras constituintes da coluna vertebral[10]

[10] https://www.auladeanatomia.com/novosite/sistemas/sistema-esqueletico/coluna-vertebral/)

As curvaturas da coluna vertebral ocorrem no plano sagital e podem ser consideradas de origem primária ou secundária, consoante estas se manifestarem no momento do nascimento do indivíduo ou se são derivadas por fatores externos como hereditariedade ou mau comportamento postural. Normalmente, as curvas primárias estão mais interligadas com a zona torácica-sacral, enquanto que as curvas secundárias com a zona cervical-lombar (Barros, 2008). No desenvolvimento deste projeto, que passa pela utilização da mochila escolar é necessário fazer um enquadramento de como o aparecimento das curvaturas anómalas da coluna vertebral podem influenciar esta vertente de utilização. Normalmente as deformações da coluna estão muito associadas a fatores externos, tais como a má postura corporal, o transporte de carga exagerada, que podem dar origem ao aparecimento e agravamento de diversas patologias, onde se destacam a cifose, lordose e escoliose, representadas na figura 9.



Figura 9- Escoliose, cifose e lordose.[11, 12, 13]

2.5.1. Lordose

A lordose é uma patologia associada a desvios da coluna vertebral, bastante sintomática. Segundo Knoplich (1958) "lordose *é a curvatura que se observa no perfil de uma coluna vertebral, na convexidade da região cervical e região lombar "* (Barros, 2008). As causas mais

[11] http://www.tratamentodecoluna.com.br/website/index.php/o-que-e-a-lordose
[12] https://www.itcvertebral.com.br/doencas-da-coluna/escoliose
[13] http://www.cirurgiadacoluna.com.br/doencas/cifose

vulgares para o aparecimento das curvas lordóticas são a espondilolistese, a obesidade, osteoporose e discite.[14]

A lordose caracteriza-se pela inclinação da coluna vertebral para a parte interna do corpo humano, tendo diferente denominação em relação ao seu estado de gravidade. Se a curva apresentada ainda não tiver uma inclinação muito acentuada é considerada de hipolordose contudo se a curva tiver bastante proeminência é considerada de hiperlordose [15] A figura 10 demonstra a inclinação que a coluna vertebral apresenta no estado de lordose e hiperlordose.

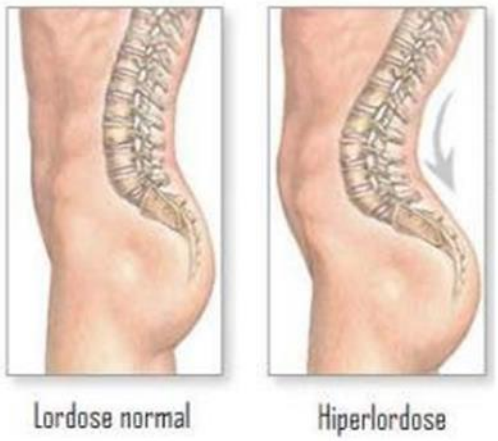


Figura 10- Curva lordótica normal e curva hiperlordótica.[16]

2.5.2. Cifose

A cifose é uma patologia conhecida vulgarmente por "corcunda", caracterizada por um aumento da curvatura da coluna vertebral no plano sagital. Esta curvatura pode ter uma origem primária ou ser derivada de comportamentos posturais negativos. Vários estudos classificam esta patologia como assintomática num estágio inicial, podendo ser bastante sintomática quando existe um avanço na incidência da curvatura. O aparecimento de cifose é mais predominante no período da adolescência, estando associada à fase de crescimento mais acentuado a nível muscular e a nível esquelético. A causa do aparecimento da cifose está relacionada com outra

[14] http://www.minhavida.com.br/saude/temas/lordose acedido em 8 de Dezembro de 2017
[15] https://www.herniadedisco.com.br/espaco-dr-coluna/artigos/lordose-tratamento/ acedido em 8 de Dezembro de 2017
[16] (https://www.herniadedisco.com.br/espaco-dr-coluna/artigos/lordose-tratamento/)

doença também do foro da coluna vertebral, designada por doença de Scheurmann (provoca a estrutura em arco da coluna vertebral).[17].

A figura 11 ilustra as diferenças existentes ao nível da postura com o aparecimento da cifose, sendo visível a inclinação no plano sagital, afetando a zona dorso-lombar.

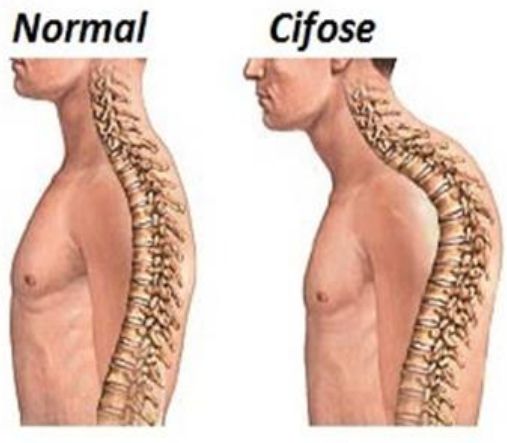


Figura 11- Esquema ilustrativo da inclinação da coluna vertebral até ao aparecimento da patologia cifose[18]

2.5.3. Escoliose

A escoliose é uma patologia também associada aos desvios posturais na coluna vertebral, onde a coluna vertebral sofre desvios laterais. Hall (1992) citado por (Barros, 2008), indica que a escoliose está associada a uma curvatura com aspeto em C ou S, envolvendo as componentes lombar e torácica da coluna (figura 9), sugerindo a distinção entre escolioses estruturais e escolioses não estruturais.

Este tipo de patologia é relevante nas fases de crescimento e desenvolvimento muscular (fase da adolescência), sendo predominante em indivíduos do sexo feminino. (Barros, 2008). Quando a patologia é detetada ainda numa fase bastante precoce existe uma taxa de sucesso elevada

[17] http://www.cirurgiadacoluna.com.br/doencas/cifose acedido a 5 de Dezembro de 2017
[18] http://alivioparadornascostas.blogspot.pt/2015/05/cifose-e-hipercifose-tratamento.html

para o seu processo de reabilitação. Na figura 12 também é explícito a assimetria presente ao nível dos ombros e zona do quadril quando existe curvas escolióticas.

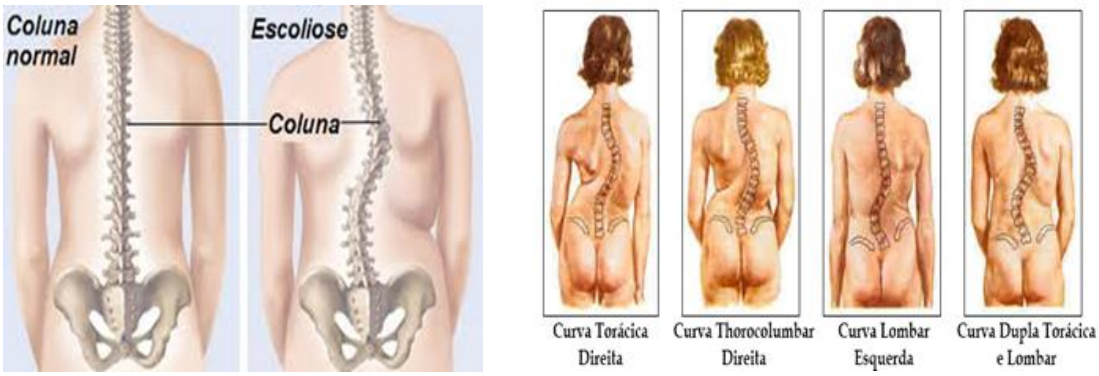


Figura 12- Diferentes perspetivas das curvas escolióticas[19][20]

2.6. Lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho

As lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT) são patologias associadas a atividades quotidianas do indivíduo, em particular no contexto laboral. Entre outros aspetos, os esforços repetitivos, as posturas incorretas, o transporte inadequado de massas ou o transporte repetido de massas com valor superior a 10% do peso do utilizador são fatores que promovem o aparecimento deste grupo importante de patologias. (Hong & Cheun, 2002)

Desde a Revolução Industrial que começou a existir um notório aumento das queixas associadas a atividades laborais do indivíduo, tanto devido à carga aumentada de trabalho como a esforços repetidos. Refira-se que no fim do século XIX a atividade laboral chegava a assumir 90 horas semanais (Coelho, 2009).As LMERT são caracterizadas pelo aparecimento de dor, fadiga e perda de força. Se não existir tratamento adequado num estágio inicial, os sintomas iniciais podem evoluir para uma situação crónica. Das várias patologias associadas às LMERT, podem-se salientar as tendinites, as lombalgias e as raquialgias. (Direção Geral da Saúde, 2008)

[19] (http://blogpilates.com.br/tratamento-da-escoliose/
[20] https://www.herniadedisco.com.br/espaco-dr-coluna/artigos/escoliose-causas-sintomas-tratamento

As tendinites ocorrem ao nível dos membros superiores e são caracterizadas pelo seu aspeto bastante sintomático devido a ser uma inflamação ao nível dos tendões. O seu grau de complexidade por vezes leva à incapacidade de movimentos no indivíduo. As lombalgias são caracterizadas por serem dores situadas na zona lombar provocadas por esforço físico excessivo. Estas podem ser classificadas em agudas ou crónicas dependendo da sua duração.[21] As raquialgias são caracterizadas pela presença de dor existente na coluna vertebral, que pode ser causada por diversos fatores tais como fatores degenerativos, infeciosos entre outros. De acordo com o Atlas da Saúde[22], órgão de informação online no contexto da saúde, estima-se que 60 a 80 % da população mundial apresente pelo menos uma crise ao longo do seu período de vida Em Portugal, a informação relativa à quantificação de indivíduos que sofrem de LMERT é ainda escassa. Contudo, este domínio do conhecimento tem vindo a progredir, havendo atualmente grupos de investigadores que se dedicam ao estudo e melhoria das condições de trabalho, assim como à perceção do risco e ao desenvolvimento de equipamentos e utensílios que promovam a segurança no trabalho. Esteves (2013), desenvolveu um estudo numa empresa de produção de queijos onde 51,5% dos trabalhadores apresentam sintomas da existência de lesões músculo esqueléticas enquanto que 64% já apresentavam patologias associadas às lesões músculo-esqueléticas. A investigadora dá ênfase à necessidade extrema de haver uma intervenção preventiva ao nível da doença, de modo a que seja possível um controlo da incidência das mesmas.

2.7. Lesões Músculo-esqueléticas na adolescência no contexto da mala escolar

A adolescência é caracterizada como o período de maior transição a nível muscular e esquelético. É nesta fase que o uso incorreto da mochila escolar, bem como o transporte de carga excessiva em relação à massa corporal do utilizador, faz aparecer inúmeras patologias em relação ao sistema músculo-esquelético.O uso de carga excessiva na mochila escolar pode levar ao desenvolvimento de problemas na vertente da locomoção, dores nas costas bem como outras patologias tais como lordoses, escolioses ou cifoses.

[21] http://www.minhavida.com.br/saude/temas/lombalgia acedido a 5 de Dezembro de 2017
[22] http://www.atlasdasaude.pt/publico/content/raquialgias acedido a 6 de Dezembro de 2017

Em Portugal, têm sido notícia nos últimos tempos a petição que decorreu devido ao excesso de carga transportada pelos alunos[23]. Vários autores tais como Carvalho e Fadigas (2017) apresentam um conjunto de medidas a implementar de modo a tentar resolver a questão relacionada com o excesso de peso transportado. (Carvalho & Fadigas, 2017).

Um estudo efetuado pela *Deco Proteste*[24], no presente ano, em que 174 crianças do 2º ciclo foram avaliadas em relação à carga transportada nas suas mochilas escolares, mostrou que 66 % das crianças avaliadas transportava peso a mais na sua mochila escolar. O estudo identificou um caso de uma criança de 32 kg de massa que transportava uma carga equivalente a 11 kg.

O protótipo apresentado ao longo deste projeto têm como objetivo exercer um papel de reeducação ao que toca a carga transportada em mochilas escolares. Na necessidade de recolher informação sobre as lesões musculo esqueléticas em adolescentes em Portugal, recolheu-se alguns estudos realizados por investigadores na vertente da carga excessiva transportada em mochilas escolares.

Barros (2008) efetuou um estudo com 136 adolescentes pertencentes a escolas públicas e privadas (idades compreendidas entre os 6 e os 19 anos) de modo a verificar o impacto postural que pode existir com o transporte de carga em mochilas escolares. Deste estudo, 68.5% dos voluntários já apresentavam a patologia hiperlordose lombar, 58,1% protusão dos ombros e 49,2% anteriorização do pescoço. Esta investigadora também relacionou o tempo de suporte da mochila escolar com a presença de dor, tal como se pode verificar na figura 13. Com o seu trabalho, a investigadora propõe um conjunto de recomendações a serem implementadas pelos profissionais ligados à aréa de ensino, alertando para o papel preventivo que deve ser introduzido de modo a diminuir o aparecimento destas lesões neste grupo etário.

[23] http://peticaopublica.com/pview.aspx?pi=PT84219 acedido a 10 de Dezembro de 2017
[24] https://www.deco.proteste.pt/familia-consumo/bebes-criancas/noticias/2017/mochilas-escolares-com-peso-a-mais acedido a 10 de Dezembro

			Sente dores		
			Sim	Nao	Total
tempocomsacoescolar	0-15 min	N	19	13	32
		%	21,6%	37,1%	26,0%
	15-30 min	N	22	13	35
		%	25,0%	37,1%	28,5%
	30-60 min	N	30	3	33
		%	34,1%	8,6%	26,8%
	+60 min	N	17	6	23
		%	19,3%	17,1%	18,7%
Total		N	88	35	123
		%	100,0%	100,0%	100,0%

Figura 13-- Valores relativos à presença de dor com a influência do tempo em que os inquiridos se encontravam com o saco escolar (Barros, 2008)

Minhoto (2013) também efetuou um estudo relacionado com o impacto do transporte de carga excessiva em mochilas escolares, em condições de postura estática. Numa avaliação de 65 voluntários (33 do sexo feminino e 32 do sexo masculino), provenientes da mesma escola e pertencentes ao quinto e sexto ano letivos, identificou vários parâmetros antropométricos, como por exemplo a carga transportada habitualmente. Os resultados demonstraram que 70.8% da amostra em estudo transportava carga acima dos 10% recomendados em relação à sua massa corporal, e que em relação à incidência da carga excessiva transportada ela é mais notória nos alunos do quinto ano (44,6%) enquanto que o sexto ano registava uma taxa de incidência de 26.1%.

3. A mochila- Emoji Backpack

A ideia de desenvolvimento de uma mochila equipada com dispositivos de monitorização postura e consequentemente feedback motivacional e pedagógico, assentou na perceção de uma necessidade mas também pela identificação de uma oportunidade. Tratando-se de um domínio que envolve a segurança e a saúde, em particular de jovens em idade escolar, e por isso em fase de crescimento, a motivação quanto ao desenvolvimento de uma solução que possa contribuir para melhorar a segurança e saúde deste grupo é por si só importante. A identificação desta oportunidade passou, numa primeira fase pela perceção da falta de mochilas com um tipo de solução que garanta os aspetos motivacionais num grupo de utilizadores numa fase de idade de difícil implementação de conceitos relacionado com a segurança ocupacional. Contudo, de modo a garantir o desenvolvimento de uma solução adequada houve a necessidade de em primeiro lugar identificar adequadamente e de modo aprofundado as soluções existentes no mercado e posteriormente suportar na identificação de lacunas a implementação do sistema.

Assim, neste capítulo apresenta-se em primeiro lugar a pesquisa desenvolvida quanto às mochilas existentes. Depois é descrita de modo sucinto a mochila desenvolvida, designada por Emoji Backpack..

3.1. O estado da arte

A pesquisa efetuada passou em primeiro lugar pela identificação do tipo de mochilas existentes à venda, em particular para transporte de material escolar de jovens em idade escolar, público-alvo do projeto. Esta pesquisa inicial assentou numa visita às loja da especialidade, assim como na consulta de artigos de venda livre. Em resultados desta pesquisa, foram identificadas mochilas de diversos tipos, com alças soltas e com alças acolchoadas, com em sem ajuste ao corpo. Em nenhuma das situações identificadas nas lojas comuns se percecionou a existência de mochilas com características de instrumentação para controlo postural e reeducação do comportamento a ter. Neste tipo de lojas, a indicação quanto a mochilas para salvaguarda da postura, e em particular ao nível das costas, assentava na utilização de mochila conjugada com um carro de transporte, o que não se torna apelativo para a população alvo.

De seguida procedeu-se a uma pesquisa mais aprofundada, tendo sido também implementada uma busca quanto ao registo de patentes existentes. Assim, além da identificação de marcas de desenvolvimento de mochilas com características especiais, foram aprofundadas as buscas em motores de pesquisa de patentes, nomeadamente no Google Patents, INPI – Instituto Português da Propriedade Industrial, na EPO – European Patent Office e no WIPO – World Intellectual Property Organization. Esta recolha de informação conduziu à identificação das principais soluções existentes atualmente para o problema em questão, e que resumem na tabela 1.

Tabela 1 - Descrição sucinta do que existe no mercado relacionado com o protótipo (Pinheiro *et al*., 2017)

Designação	Entrada	Saída	Funcionalidades
Self-weighing backpack with weight notification features (USA Patente Nº 89105843 B2, 2014)	Extensómetros nas alças e balança de mola	Sinal sonoro Display com texto	CPU e Armazenamento Leitor RFID para controlar entrada/saída de elementos. CPU deteta peso máximo em função do peso do utilizador.
Weighing devices (USA Patente Nº 7156918 B2, 2007)	Tiras elásticas nas alças	Escala visual	Sem equipamentos eletrónicos.
Backpack equipped with a weight-measuring device (USA Patente Nº 0056779AL, 2007)	Balança de mola nas alças	Escala visual	Sem equipamentos eletrónicos.
Weight determining mechanism for a backpack or other luggage ((USA Patente Nº 0011568AL, 2008)	Mola e resistência nas alças ou asa	Escala visual ou mostrador digital	Sem CPU nem armazenamento Pensado para bagagens em Check-in.
Weighable schoolbag (China Patente Nº 104223720A, 2014)	Balança no fundo da mochila	LED ou sonora	CPU calcula peso total e dispara alarme.
iBackPack: The next generation backpack((D.Monaham, 2016)	-	-	GPS tracking, WiFi, Bluetooth, Sound System, Battery PowerBank, USB Ports, Mobile APP

3.2. Self- weighting backpack with notification features

Esta mochila recorre à instrumentação das alças com recurso a extensómetros. Incorpora uma unidade central de processamento, um sistema de avaliação de carga baseado numa mola e um sistema de transmissão de dados baseado em RFID (Radio Frequency Identification) Este sistema permite o armazenamento de dados relativos ao peso do utilizador e gera um alerta se

este transportar uma carga excessiva para o seu peso corporal. Este dispositivo surgiu também numa vertente de minimização das lesões músculo-esqueléticas provocadas pela carga excessiva, conseguindo-se adaptar aos movimentos do utilizador.

3.3. Weighing Devices

Este sistema é bastante simplificado, recorrendo à aplicação de tiras elásticas nas alças da mochila. Quando o utilizador utiliza carga excessiva, existe uma distensão nas tiras elásticas, sendo este o único meio de informação ao utilizador quanto à carga transportada. Não utiliza qualquer tipo de sistema eletrónico.

3.4. Backpack equipped with a weight-measuring device

Esta mochila baseia-se na incorporação de tiras elásticas nas alças, associadas a uma sistema de dinamómetro com molas, também aplicadas nas alças. Contém um visor onde o utilizador é informado da carga transportada na mochila, em função do alongamento das tiras elásticas e das molas. Não contém componentes eletrónicos e é também um sistema bastante simplificado.

3.5. Wheighable Schoolbag

Este dispositivo é apresentado para numa mochila, com o intuito de minimizar a carga transportada pelos adolescentes. É composto por uma unidade central de processamento (CPU) um dispositivo automático de pesagem, incorporado no interior da mochila na zona mais profunda. Permite a identificação do peso transportado por cada utilizador, emitindo sinais sonoros quando este é ultrapassado.

3.6. Weight determining mechanism for a backpack or other luggage

Este dispositivo permite a sua aplicação tanto em mochilas escolares como noutro tipo de malas. É composto por um conjunto de molas helicoidais e uma resistência colocadas na alça. Quando existe carga na mala, a variação na resistência e na distensão das molas, permite identificar o

peso transportado, que é disponibilizado num visor. Este dispositivo, apesar de ter também o seu enquadramento num contexto de utilização escolar, é bastante utilizado em procedimentos de embarque, na fase de *check-in*.

3.7. Ibackpack : The next generation

Este tipo de dispositivo incorpora diversos tipos de sensores, tais como GPS tracking, WiFi, Bluetooth, Sound System, Battery PowerBank, USB Ports, Mobile APP. É atualmente a mochila com características tecnológicas mais inovadoras, contudo, não tem enquadramento nos objetivos de prevenção. Além de não permitir o controlo de carga transportada, alguns dos dispositivos eletrónicos associados, pela sua dimensão e massa ainda acrescentam peso à mochila.

3.8. O conceito do Emoji BackPack

O protótipo proposto nesta mochila está representado na figura 14. Este protótipo assenta na utilização de 8 sensores piezoresistivos posicionados em cada uma das alças da mochila permitindo deste modo quantificar a força de contacto entre a alça, o ombro e a zona dorsal lombar do utilizador. A utilização de vários sensores garante a abrangência de posicionamento na alça. A mochila integra um visor LCD na sua parte posterior, que garante a interface com o utilizador. A figura 14 ilustra esquematicamente o conceito da mochila.

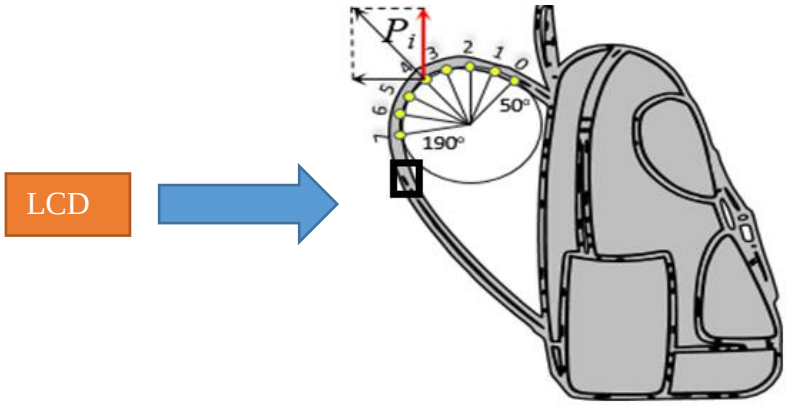


Figura 14- Esquema do protótipo desenvolvido com a inserção do lcd na parte posterior da mochila.

A mochila integra ainda um acelerómetro e uma unidade de processamento para a aquisição e armazenamento de dados, embebidos na mochila.

A mochila incorpora um conceito de interface com o utilizador baseado na utilização de um jogo interactivo com emojis. À medida que o utilizador faz o transporte da carga escolar de maneira incorreta, ou se leva carga excessiva, no LCD aparece um *Emoji* cuja imagem está relacionado com o comportamento postural que o utilizador está a desempenhar. Assim, o utilizador tende a ser reeducado pois procura o aparecimento do Emoji correcto e que corresponderá ao comportamento postural adequado. Na figura 15, são demonstrados os emojis envolventes neste processo de reeducação.



Figura 15- Emojis envolvidos no processo de reeducação conseguido através do Emoji BackPack

O emoji feliz corresponde (figura 15 – imagem esquerda) à situação de quando o utilizador adota um comportamento postural correto, ou seja, transporta a carga de maneira correta (existe uma distribuição similar pelas duas alças), assim como a carga não ultrapassa 10% da sua massa corporal. O emoji central da figura 15 (emoji triste) apresenta um estado de tristeza revelando que o utilizador está a transportar carga superior a 10 % do pressuposto ou a sua distribuição ocorre só numa alça contribuindo assim para um comportamento postural negativo. Por fim, o emoji zangado (figura 15 – imagem direita), mostra que a carga transportada alcançou uma discrepância bastante superior aos 10% recomendados, ou o utilizador está a utilizar essa carga numa só alça, originando um comportamento postural incorreto.

Um dos pressupostos da construção deste protótipo é o papel preventivo que poderá ter. Desse modo o Emoji BackPack tem inserido na sua parte interior, um microcontrolador com capacidade de aquisição e armazenamento de dados (figura 16) relativo ao comportamento

adotado pelo utilizador. Esta inclusão é feita de modo que seja impercetível pelo utilizador da mochila escolar, nem que acarrete mais carga indesejada, visto que o conforto também é um dos aspetos positivos que o protótipo apresenta.

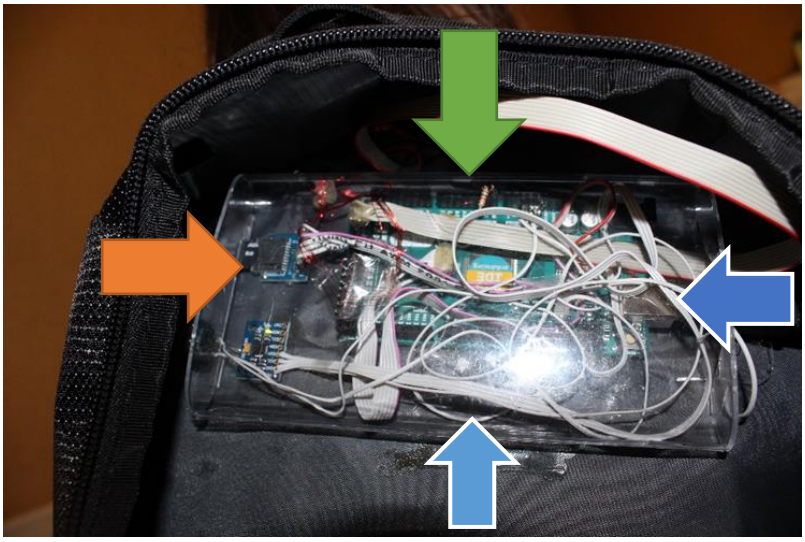


Figura 16- Unidade de processamento eletrónico posicionada na parte interior da mochila de modo a ser impercetível.

3.9. Desenvolvimento do protótipo-Materiais e métodos aplicados

Neste ponto são descritas as tecnologias e métodos utilizados na construção dos sensores piezoresistivos implementados no protótipo. A necessidade de efetuar um estudo para a escolha do material certo, bem como todo o processo envolvente e os testes efetuados no processo de calibração estão também descritos.

3.10. Materiais utilizados – Velostat, Folha de cobre e fita de cobre adesiva

Para a realização deste protótipo foi necessário efetuar uma escolha dos materiais para a construção das células de carga (sensores piezoresistivos). A escolha recaiu sobre três materiais: velostat, folha de cobre e fita cola de cobre adesiva. Os sensores criados são constituídos por dois elétrodos condutores com um material compósito resistivo, o velostat (figura 17 a), numa estrutura do tipo sandwich.[25]Os materiais condutores utilizados na construção foram a fita

[25] https://www.hindawi.com/journals/js/2016/9391850/ acedido a 11 de Dezembro de 2017

adesiva de cobre e a folha de cobre (figura 17 b). A folha de cobre é coberta por um polímero e é utilizada como condutor, assim como a fita adesiva de cobre, funcionando os dois como elétrodos. O velostat é um compósito do tipo resistivo estando a ser bastante utilizado como tecnologia na parte do *wearable* apresentando-se como folha coberto por uma película de carbono negro.[26]

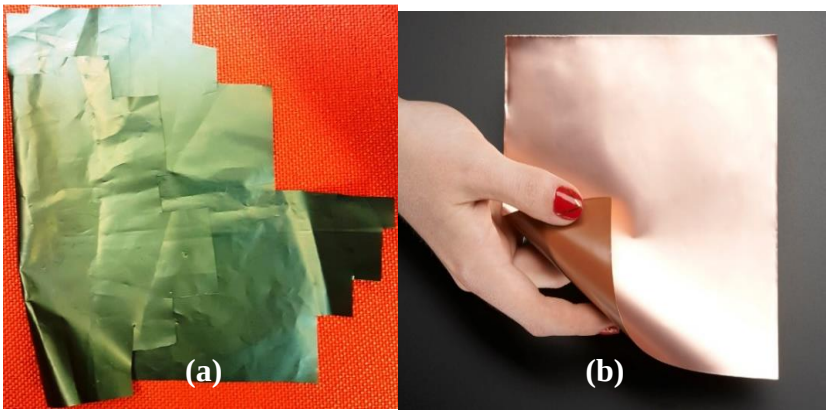


Figura 17- Velostat e Folha de cobre.[27]

3.11. Partes integrantes do protótipo

O protótipo é composto por vários elementos físicos necessários para o seu funcionamento. De entre os vários componentes necessários para o seu funcionamento salientam-se os seguintes:

- ✓ Unidade de Processamento (Árduino);
- ✓ LCD;
- ✓ Acelerómetro.

Para a aquisição de dados foi necessário implementar um dispositivo eletrónico com capacidade de obter os dados adquiridos (valores adimensionais) para posterior tratamento. O Arduíno Mega 2560 foi o que se enquadrou mais na realização deste projeto.

[26] http://www.instructables.com/id/Sensores-De-Presi%C3%B3n-Con-Velosta acedido a 25 de Outubro de 2017
[27] https://www.adafruit.com/product/1894

3.12. Unidade de Processamento- Árduino

O arduíno Mega 2560 (figura 18) é baseado no microcontrolador AT Mega 2560, que é indicado para projetos que necessitem de mais memória relacionada com o programa associado ao módulo de processamento. A nível de características físicas este é constituído por 54 entradas digitais, 16 entradas analógicas e 4 portas de comunicação em série.[28]



Figura 18- Árduíno Mega 2560[29]

3.13. Acelerómetro

Na elaboração do protótipo e com finalidade de poder realizar um estudo do comportamento postural do utilizador instalou-se um acelerómetro para determinar a inclinação lateral e sagital que a mochila sofre quando transporta carga. Para a aquisição de dados relativos à inclinação lateral e sagital da mochila foi utilizado um sensor MPU9250 da InvenSense . As equações abaixo apresentam o cálculo das inclinações, lateral e sagital respectivamente:

$$\alpha_L = \tan^{-1}\left(G_x / G_z\right) \quad (1)$$

[28] ttps://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/ acedido a 10 de Novembro de 2017
[29] https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560/

$$\alpha_S = \tan^{-1}\left(G_y \middle/ G_z\right) \quad (2)$$

Onde α_l e α_s correspondem à inclinação realizada no plano lateral e sagital, G_y a contribuição gravitacional relativa ao eixo Y, G_x a contribuição gravitacional em relação ao eixo X e G_z a contribuição relativa ao eixo Z.

3.14. Sensores Piezoresistivos

Para uma melhor interpretação e construção dos sensores piezoresistivos para implementar no protótipo proposto neste projeto foi necessário recorrer à literatura para uma descrição sucinta dos aspetos mais importantes a serem retidos.

3.15. Conceito de Piezoresistividade

Piezoresistividade (palavra proveniente do grego *piezin*) é abordado desde o século XIX, quando Lord Kelvin (1856) constatou a relação existente da resistência dos fios de cobre quando a estes era aplicado uma deformação mecânica. (Pereira, 2009).

Os sensores piezoresistivos devido às inúmeras vantagens oferecidas, tais como, baixo custo, tamanho reduzido, minimização de perdas no contexto energético, são também conhecidos como *MEMS* (sistemas microeletromecânicos), permitindo assim grandes avanços ao nível tecnológico, começando estar associados em diversas áreas tais como a industria automóvel, medicina, biologia entre outros. (Gonçalves, 2015)

Dentro da gama existente de sensores piezoresistivos no mercado é de salientar os seguintes :

- Sensores de Pressão;
- Sensores de inércia;
- Sensores de *Cantilever*;
- *Strain Gauges*

Sensores de Pressão

Os sensores de pressão são os mais desenvolvidos. Habitualmente são constituídos por materiais tais como o diamante e o silício, podendo ser também produzidos por outros materiais com propriedades poliméricas específicas, em que as características de ambos combinem, e que se aplique posteriormente mecanismos e princípios de transdução (Carvalho, 2014).

Sensores no Campo da Inércia

Os sensores de inércia são sensores com características para estudo da aceleração e da velocidade angular. Neste campo enquadram-se os giroscópios, sensores de tensão de corte e acelerómetros (Carvalho,2014)

Strain Gauge

Strain Gauge é um sensor sob forma de resistência eléctrica que permite transformar uma deformação mecânica num valor de resistência (Gonçalves, 2015). Esta relação pode ser estabelecida por:

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\frac{\Delta l}{L_0}} = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\varepsilon} \quad (3)$$

Onde *GF* é o factor de ganho, R_0 é a resistência apresentada pelo material antes do processo de deformação, ΔR corresponde à variação da resistência elétrica e $\frac{\Delta l}{L_0} = \varepsilon$ que corresponde igualmente à deformação mecânica.

Sensores de *cantilever*

Estes sensores são caracterizados por terem propriedades que os levam a ser caracterizados como sensores de deslocamento, mas também de força. Apresentam propriedades intrínsecas que os levam a ser considerados como altamente sensíveis. (Carvalho,2014)

3.16. Construção dos sensores piezoresistivos

Numa primeira instância, a construção dos sensores piezoresistivos partiu de um pressuposto bastante simplificado, para que o custo associado ao seu desenvolvimento fosse bastante reduzido.O diagrama da figura 19, mostra os componentes necessários para a elaboração dos primeiros sensores. Numa primeira etapa foram construídos 6 sensores (figura 20) para verificar a capacidade de transmissão de dados em isolado, bem como o funcionamento dos 6 como um todo.



Figura 19- Materiais utilizados na construção dos sensores piezoresistivos.

Após a verificação da uniformidade de funcionamento dos sensores, foram feitos diversos testes em relação à transmissão e veracidade dos dados transmitidos efetuando-se um processo de calibração baseado em vários pressupostos que será apresentado ao longo deste capítulo.

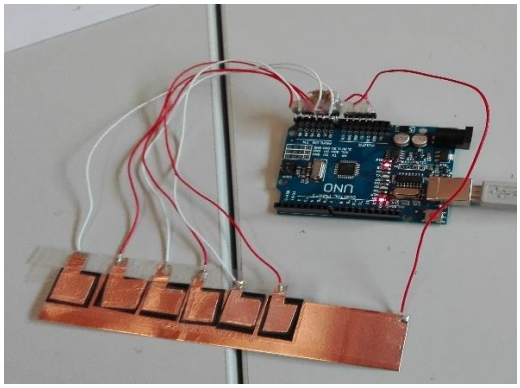


Figura 20- Projeto inicial da construção dos sensores piezoresistivos.

Após a elaboração do sensor foi necessário voltar ao contexto da literatura, de modo a conhecer melhor a parte de eletrónica envolvendo o projeto. A figura 21, demonstra que o procedimento

adotado para a construção dos sensores é o mais correto, bem como demonstra o circuito integrante do mesmo.

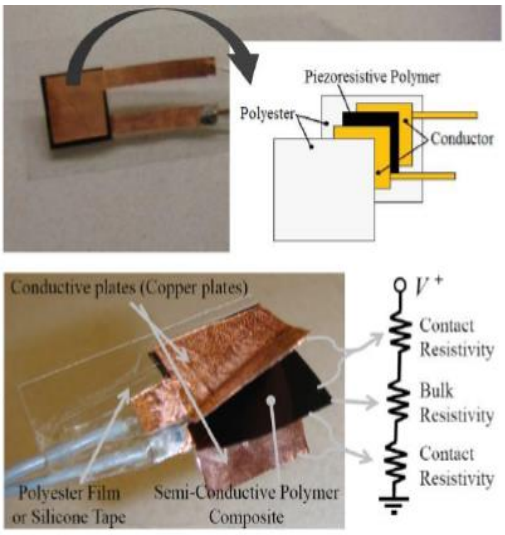


Figura 21- Construção dos sensores ((Kalantari, Dargahi, Kovecses, Ghanbari, & Nouri)).

3.17. Testes Mecânicos -processo de calibração

Neste ponto serão abordados os testes mecânicos que o protótipo sofreu para que houvesse validação dos resultados. É de denotar que o protótipo ainda está em fase de desenvolvimento, sendo estes os testes realizados até ao momento.

3.18. Calibração com a mesma gama de pesos de modo a verificar o comportamento homogéneo de cada sensor

A calibração baseada na utilização da mesma gama de pesos realizou-se com a utilização de pesos calibrados presentes no laboratório de biomecânica aplicada do ISEC. Após a construção dos sensores, aplicação do processo de solda e posterior ligação ao Arduíno, verificou-se que os dados recebidos pela interface sensor- Arduíno eram dados adimensionais. De modo a converter esses valores para posterior cálculo foi necessário o estudo do circuito intrínseco dos

sensores que resultou com a seguinte expressão matemática desenvolvida em laboratório (equação 4).

$$Resistência = \frac{1000 * valor\ recebido\ pela\ interface}{1024 - valor\ recebido\ pela\ interface} \quad (4)$$

Onde o valor 1024 é o valor que a interface representa em repouso (ou seja, não há aquisição de dados) e resistência o valor obtido após tratamento em k**Ω**. Este método de cálculo só foi incluído numa fase já de contrução de alça, onde se analisou o funcionamento dos sensores mais como um todo e não cada um em isolado.

O peso e a resistência não têm entre si uma interligação direta (figura 22) , pelo qual foi necessário calcular o inverso da resistência (condutância), e isto aconteceu desde a fase inicial do projeto até ao presente. Em baixo, encontra-se descrito a equação para o cálculo da condutância.

$$C_i = \frac{1}{R_i} \quad (5)$$

Onde R_i é a resistência em k**Ω** e C_i, condutância que apresenta unidades de (kΩ^{-1}).

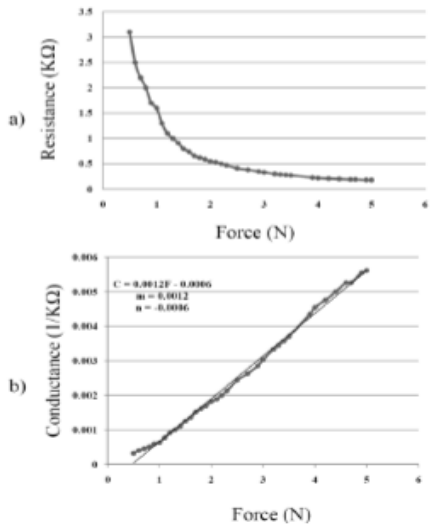


Figura 22- Relação entre grandezas: (a) Não-linearidade entre resistência e força;(b) Linearidade entre condutância e força. (Kalantari, Dargahi, Kovecses, Ghanbari, & Nouri)

3.19. Sensor 1

A tabela 2 mostra o desempenho na aquisição de dados com diferentes forças exercidas durante um período de tempo compreendido entre os 35 e os 36 segundos. A dependência da força exercida com a resistência e posteriormente com a condutância pode verificar-se na figura 23 .É de salientar que o valor médio que se está a referir na tabela é o valor dos resultados adimensionais recolhidos.

Tabela 2- Valores relativos ao sensor 1

FORÇA (N)	2.55	3.55	4.55	5.55	6.55	7.55	8.55
MÉDIA	253.33	163.14	133.08	111.69	95.56	66.67	58.22
RESISTÊNCIA(KΩ)	328.72	189.51	149.38	122.43	102.92	69.64	60.29
CONDUTÂNCIA($K\Omega^{-1}$)	3.04	5.28	6.69	8.17	9.72	14.36	16.59

Como se pode observar através da tabela 2, o sensor apresenta o comportamento desejado de um sensor com especificações piezoresistivas, devido ao aumento da condutância (entre os 3,04 $k\Omega^{-1}$ e os 16,59 $k\Omega^{-1}$) aquando a existência de uma força aplicada. O valor do coeficiente de determinação é praticamente 1 o que representa uma boa linearidade entre as grandezas tratadas.

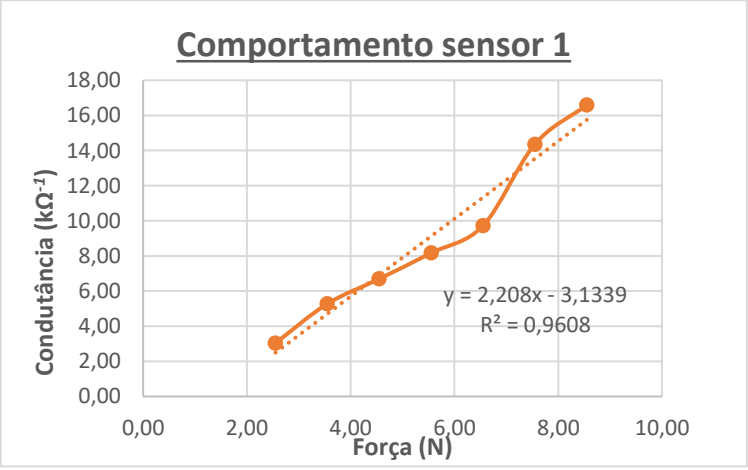


Figura 23- Comportamento do sensor 1

3.20. Sensor 2

A tabela 3 mostra o desempenho na aquisição de dados com diferentes forças exercidas durante um período de tempo compreendido entre os 35 e os 36 segundos. A dependência da força exercida com a condutância pode verificar-se na tabela 3 e na figura 24.

Tabela 3- Valores obtidos de resistência em função da força exercida

FORÇA (N)	2.55	3.55	4.55	5.55	6.55	7.55	8.55
MÉDIA	146.86	113.33	79.08	71.06	65.39	49.86	42.72
RESISTÊNCIA(KΩ)	167.43	124.45	83.69	74.56	68.21	51.18	43.54
CONDUTÂNCIA($K\Omega^{-1}$)	5.97	8.04	11.95	13.41	14.66	19.54	22.97

Como se pode verificar o sensor 2 também apresentou um comportamento homogéneo na aquisição de dados, onde se verifica o decréscimo da resistência e aumento da condutância com valores entre os 5,97 $k\Omega^{-1}$ e os 22,97 $k\Omega^{-1}$.

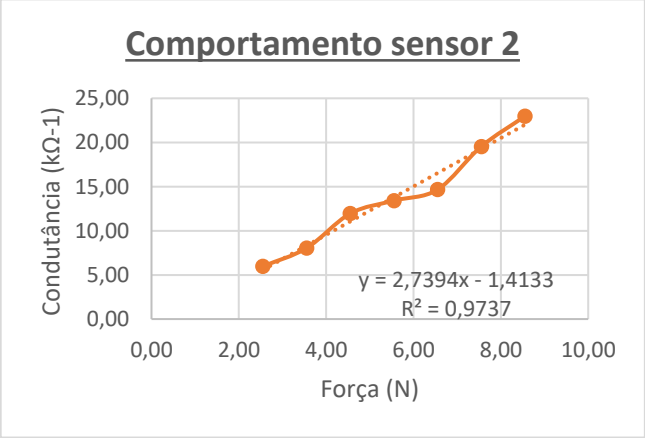


Figura 24- Comportamento sensor 2.

3.21. Sensor 3

A tabela 4 mostra o desempenho na aquisição de dados com diferentes forças exercidas durante um período de tempo compreendido entre os 35 e os 36 segundos. A dependência da força exercida com a condutância adquirida pode verificar-se na tabela 4 e na figura 25.

Tabela 4- Valores de resistência em função da força exercida.

FORÇA (N)	2.55	3.55	4.55	5.55	6.55	7.55	8.55
MÉDIA	254.17	220.28	163.53	131.36	114.22	103.08	83.94
RESISTÊNCIA(KΩ)	330.16	274.07	190.04	147.16	125.55	111.96	89.30
CONDUTÂNCIA($K\Omega^{-1}$)	3.03	3.65	5.26	6.80	7.96	8.93	11.20

Através dos dados da tabela 4 e na figura 25 podemos constatar que existe um aumento da condutância com o aumento da força exercida estando esta compreendida na gama dos 3,03 $k\Omega^{-1}$ a 11,20 $k\Omega^{-1}$.

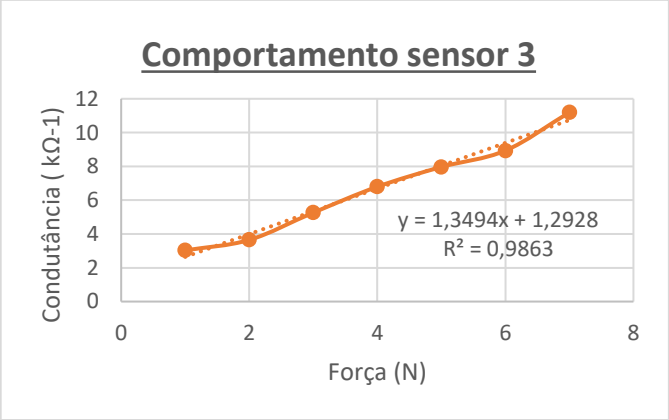


Figura 25- Comportamento sensor 3

3.22. Sensor 4

A tabela 5 mostra o desempenho na aquisição de dados com diferentes forças exercidas durante um período de tempo compreendido entre os 35 e os 36 segundos. A dependência da força exercida com a condutância adquirida pode verificar-se na tabela 5 e na figura 26.

Tabela 5- Valores da resistência em função da força exercida

FORÇA (N)	2.55	3.55	4.55	5.55	6.55	7.55	8.55
MÉDIA	225.81	189.83	169.69	141.58	95.53	73.75	71.92
RESISTÊNCIA(KΩ)	282.90	227.57	198.63	160.45	102.89	77.61	75.54
CONDUTÂNCIA($K\Omega^{-1}$)	3.53	4.39	5.03	6.23	9.72	12.88	13.24

Os valores da resistência no sensor 4 apresentam um comportamento linear no que diz respeito ao aumento da condutância quando existe um aumento da força aplicada (aumento de 3,53 até 13,24 $k\Omega^{-1}$).

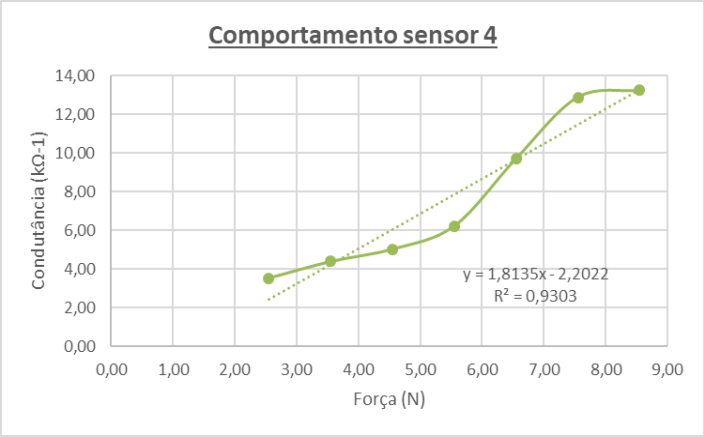


Figura 26- Valores obtidos da condutância em função da força.

3.23. Sensor 5

A tabela 6 mostra o desempenho na aquisição de dados com diferentes forças exercidas durante um período de tempo compreendido entre os 35 e os 36 segundos. A dependência da força exercida com a condutância adquirida pode verificar-se na tabela 6 e figura 27.

Tabela 6 - Valores de força e média da resistência adquirida

FORÇA (N)	2.55	3.55	4.55	5.55	6.55	7.55	8.55
MÉDIA	240.06	205.19	153.50	142.47	105.53	82.14	80.83
RESISTÊNCIA(KΩ)	306.22	250.60	176.34	161.62	114.90	87.21	85.70
CONDUTÂNCIA($K\Omega^{-1}$)	3.27	3.99	5.67	6.19	8.70	11.47	11.67

O sensor 5 apresenta um comportamento linear no que diz respeito aos valores das condutâncias em relação à força exercida em que estas variam de 3,27$k\Omega^{-1}$ até 11,67 $k\Omega^{-1}$.

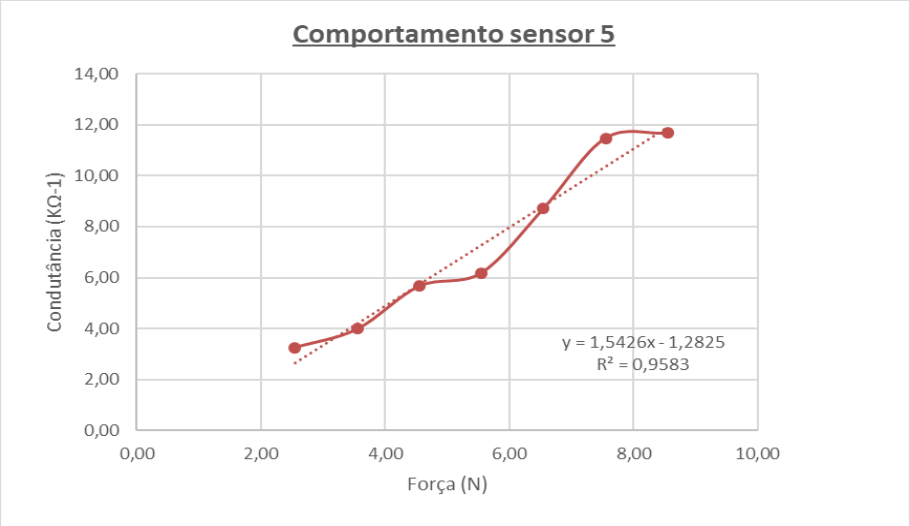


Figura 27- Valores da condutância em relação á força exercida.

3.24. Sensor 6

A tabela 7 mostra o desempenho na aquisição de dados com diferentes forças exercidas durante um período de tempo compreendido entre os 35 e os 36 segundos. A dependência da força exercida com a condutância adquirida pode verificar-se na tabela 7 e figura 28.

Tabela 7- Valores da resistência em função da força.

FORÇA (N)	2.55	3.55	4.55	5.55	6.55	7.55	8.55
MÉDIA	294.11	233.31	191.89	177.28	131.22	104.14	63.75
RESISTÊNCIA(KΩ)	397.51	291.39	227.87	206.93	145.35	112.00	65.70
CONDUTÂNCIA($K\Omega^{-1}$)	2.52	3.43	4.39	4.83	6.88	8.93	15.22

O sensor 6 apresenta um comportamento semelhante aos sensores descritos nos pontos acima mencionados. O valor da condutância aumenta com a força aplicada estando estes valores compreendidos entre os 2,52 $k\Omega^{-1}$ e os 15,22$k\Omega^{-1}$.

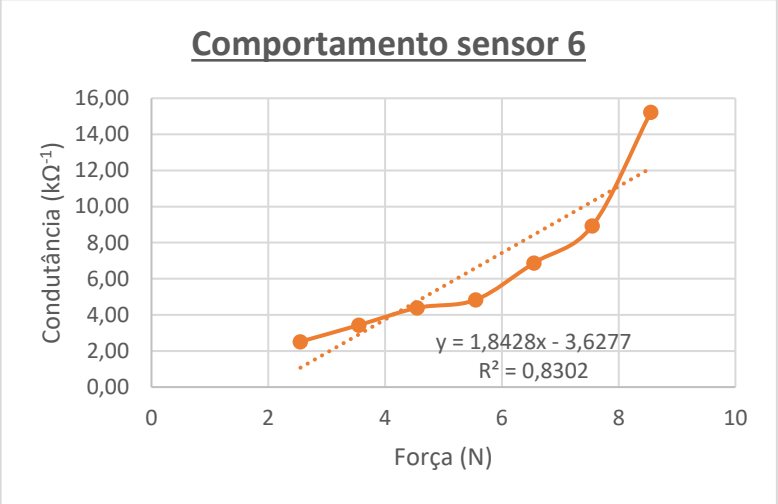


Figura 28- Valores da condutância em função da força

3.25. Comparação de resultados entre os seis sensores

A figura 29 agrupa os resultados obtidos para os diversos sensores, confirmando que a aquisição de valores de condutância foi efetuada da maneira mais correta (os valores do coeficiente de determinação em cada um dos sensores aproxima-se de 1, com exceção do sensor 6) . O sensor 2 é o que apresenta a maior amplitude de valores de condutância mencionados em relação análise em conjunto de todos os sensores. Esta discrepância de valores em relação ao sensor 2 pode estar relacionada com erros que tenham ocorrido no período de calibração. No que toca ao desempenho de aquisição de dados, os seis sensores mostraram um comportamento satisfatório, cumprindo os pressupostos desejados.

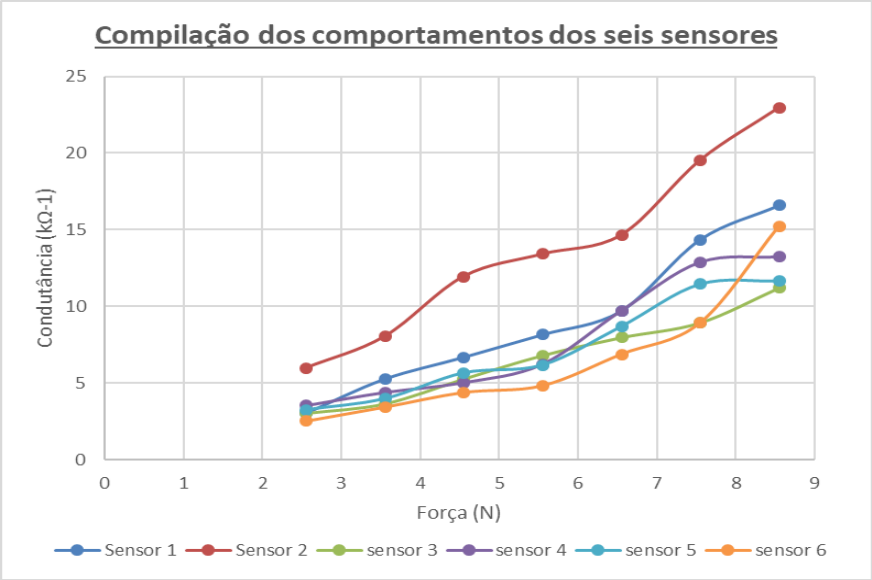


Figura 29-Valores da condutância em relação aos seis sensores como mesma gama de valores de força exercida

3.26. Calibração dos sensores piezoresistivos- influência da área e posição

Um dos pressupostos a analisar na construção dos sensores passa por avaliar a influência que a área de construção do sensor poderá ter no seu comportamento. Assim, apresentam-se os resultados de vários processos de calibração, onde existe uma amplitude diversificada no que diz respeito à área envolvente do sensor. Após a verificação do comportamento similar na aquisição de dados dos sensores no primeiro processo de calibração, realizou-se uma nova construção, desta vez de 3 sensores de áreas diferentes, calibrados inicialmente como um todo (verificando a importância da área do sensor) e posteriormente com uma calibração em 5 posições diferentes no sensor, tal como descrito na figura 30.

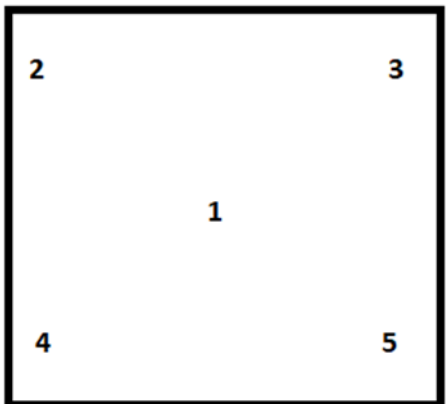


Figura 30- Pontos para calibração dos sensores

3.27. Sensor 1- Área de 2.6 cm²

O sensor 1 apresenta uma área 2.6 cm². A tabela 8 mostra os valores de resistência e condutância adquirida com a variação da força aplicada.

Tabela 8- Valores da força e média da resistência adquirida no sensor de área de 2.6 cm²

Força (N)	2,55	7,55	12,55	17,55	22,55
Média	180,81	69,97	36,06	27,94	24,55
Resistência (kΩ)	214,43	73,34	36,50	28,05	24,56
Condutância (kΩ⁻¹)	4,66	13,64	27,39	35,66	40,71

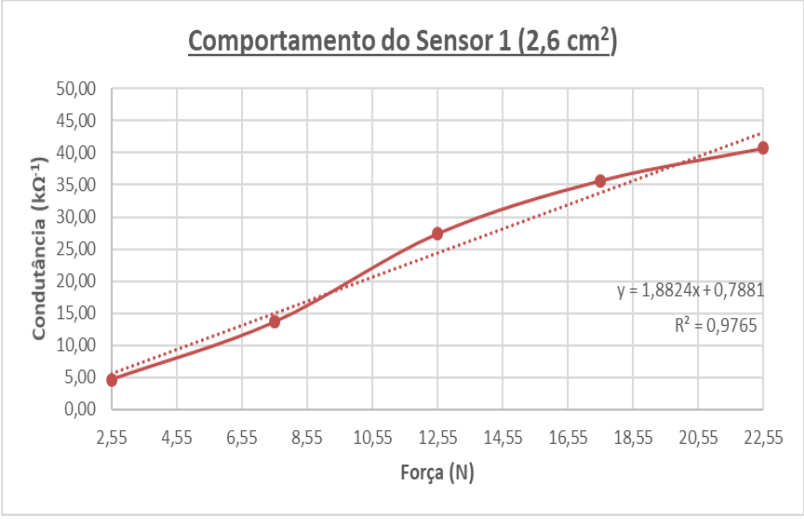


Figura 31 - Comportamento do sensor de área 2.6 cm².

Como se pode verificar na figura 31 através do coeficiente de determinação ser próximo de 1, o sensor com uma área de 2,6 cm^2 tem uma aquisição de dados bastante satisfatório no que diz respeito aos valores de condutância.

3.28. Sensor 2- Área de 4 cm^2,

O sensor 2 tem uma área de 4 cm^2, onde foi aplicado o mesmo procedimento de calibração igual ao do sensor 1. A tabela 9 e a figura 32 mostram o comportamento do sensor na aquisição de valores de condutância em relação a diferentes valores de força exercida.

Tabela 9- Valores de resistência e condutância para o sensor de 4 cm^2

Força (N)	2,55	7,55	12,55	17,55	22,55
Média	103,39	35,84	25,00	18,06	15,06
Resistência (kΩ)	112,30	36,27	25,03	17,96	14,93
Condutância ($kΩ^{-1}$)	8,90	27,57	39,96	55,69	66,97

Os valores da condutância aumentam linearmente com o aumento da força exercida, mostrando assim que o sensor se encontra a funcionar em pleno.

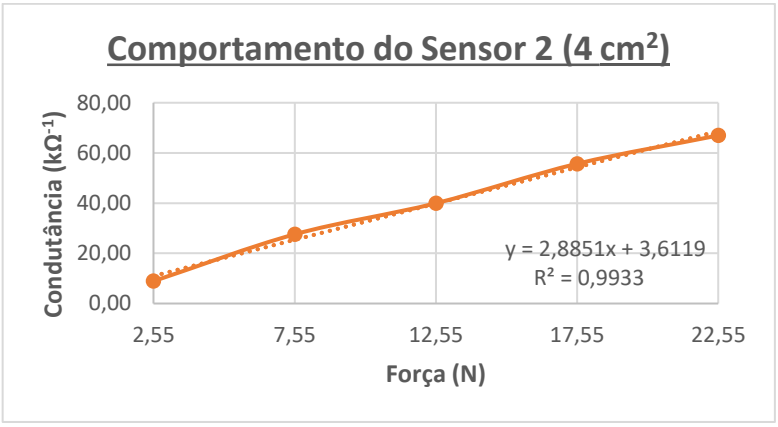


Figura 32- Comportamento do sensor 2 com área de 4 cm^2

3.29. Sensor 3- Área de 3 cm^2

O sensor 3 tem uma área de 3 cm^2, onde foi aplicado o mesmo procedimento de calibração igual ao do sensor 2. A tabela 10 e a figura 33 mostram o comportamento do sensor na aquisição de valores de condutância em relação a diferentes valores de força exercida.

Tabela 10- Valores de força e média das resistências e condutâncias para o sensor de 3 cm^2.

Força (N)	2,55	7,55	12,55	17,55	22,55
Média	124,06	55,58	29,97	29,42	20,55
Resistência (kΩ)	137,86	57,39	30,15	29,58	20,48
Condutância (kΩ^{-1})	7,25	17,42	33,17	33,81	48,83

Através da figura 33, verifica-se a linearidade entre a condutância e a força, tendo sido obtido um valor de coeficiente de determinação perto do valor 1 mostrando assim que o sensor está a desempenhar um comportamento ideal.

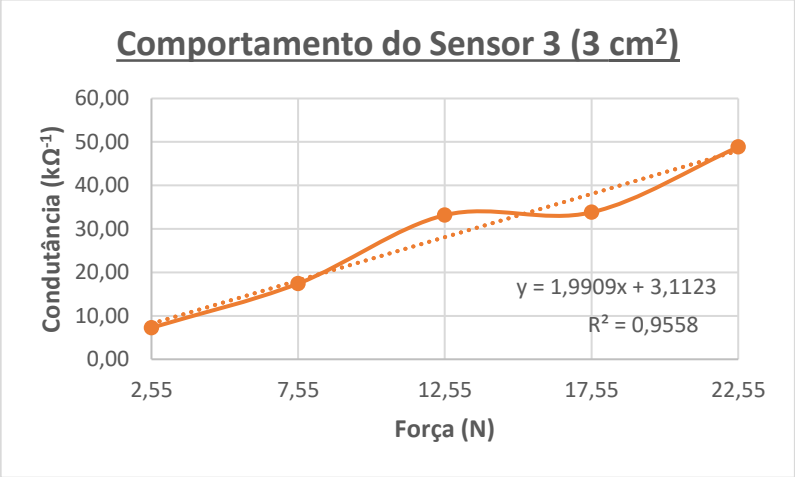


Figura 33- Valores de condutância em relação à carga exercida para o sensor de 3 cm^2.

3.30. Calibração com recurso a base retangular- cinco posições diferentes

De modo a avaliar como iria reagir a interface do sensor ao ser calibrado em posições específicas (figura 30), utilizou-se durante o processo de calibração pesos calibrados com várias formas geométricas (retangular e circular), de modo a verificar se a capacidade de aquisição de

valores seria a mesma, bem como a veracidade dos mesmos. Os resultados deste ponto são em relação à calibração recorrendo a base rectangular.

Sensor 1

Na tabela 11 estão presentes os valores relativos às cinco posições utilizadas no processo de calibração com a representação do valor das condutâncias ($k\Omega^{-1}$).

Tabela 11- Valores médios das condutâncias nas cinco posições para o sensor 1 (sensor de área 2.6 $cm^{2)}$

	Média das condutâncias ($k\Omega^{-1}$)				
Primeira Posição	3,23	8,70	15,85	23,94	29,85
Segunda Posição	2,28	14,52	24,48	34,08	44,22
Terceira Posição	0,96	1,61	3,16	3,42	3,90
Quarta Posição	2,28	14,52	24,48	34,08	44,22
Quinta Posição	1,96	6,37	9,35	11,53	13,51

Após a aquisição de dados relativos a cada posição construiu-se um gráfico com os valores de condutância média de cada posição em cima mencionados de modo que fosse possível efetuar uma análise preliminar de cada posição.

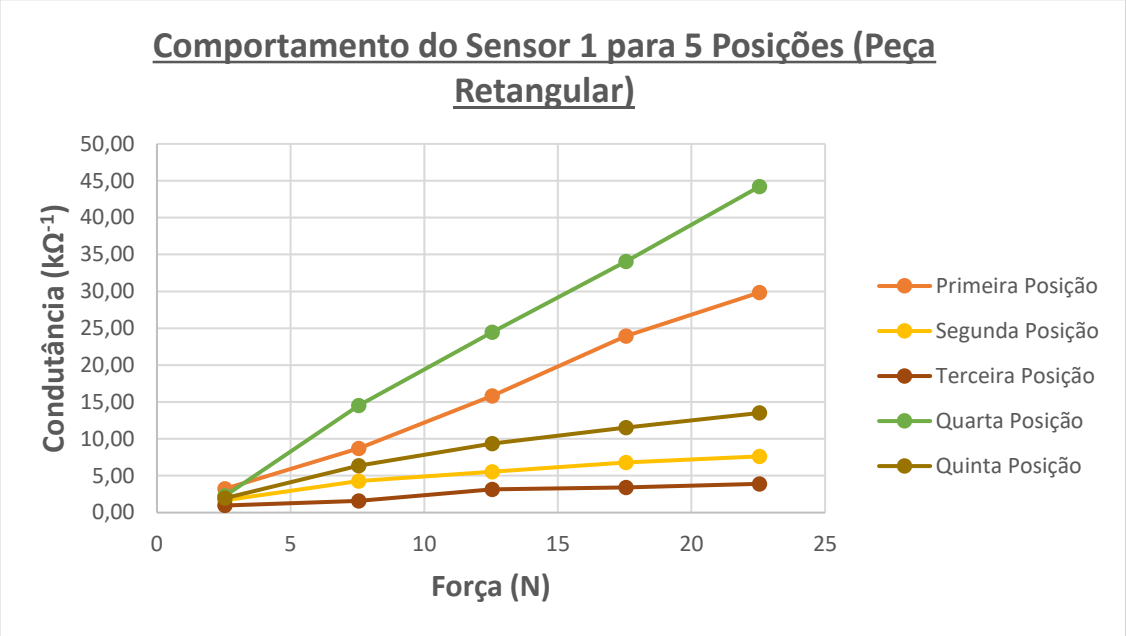


Figura 34- Inter-comparação de valores relativos ao desempenho da aquisição de dados em diferentes posições do sensor 1 utilizando uma base retangular.

Com a visualização da figura 34, é notório que quando existe um acréscimo da força exercida, a condutância aumenta de forma equilibrada, o que não se verificou na primeira e quarta posição onde ocorreu um acréscimo acentuado devido a erros associados ao processo de calibração.

Sensor 2

No sensor 2 de área de 4 cm^2, o procedimento adotado foi similar ao anterior para o sensor 1. Na tabela 12, estão descritos os valores obtidos de resistência para a calibração nas diversas posições bem como na figura 35.

Tabela 12- Valores de condutância média em cinco posições diferentes para o sensor 2, utilizando uma base retangular na calibração.

	Média das condutâncias ($k\Omega^{-1}$)				
Primeira Posição	7,38	15,39	24,23	39,80	61,24
Segunda Posição	5,71	16,17	35,28	47,69	58,89
Terceira Posição	5,62	18,72	33,13	42,72	50,70
Quarta Posição	6,17	13,56	29,41	43,77	57,79
Quinta Posição	5,66	15,46	20,68	27,14	32,52

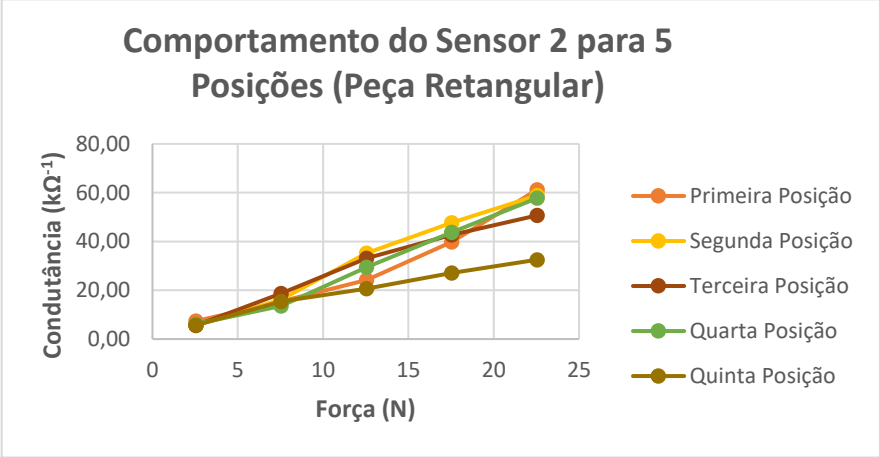


Figura 35 - Valores de resistência adquirida em 5 posições diferentes utilizando uma calibração de base retangular.

Neste sensor a quinta posição revela ter um comportamento diferente dos valores adquiridos nas outras posições devido aos valores mais baixos de condutância adquiridos. Contudo continua com uma função satisfatória no que diz respeito à recolha de dados. Esta variação pode ter ocorrido devido a erros associados ao processo de calibração.

Sensor 3

No sensor 3, o procedimento adotado no processo de obtenção de valores de resistência foi igual ao dos sensores 1 e 2. É de denotar que no tratamento de dados em qualquer um dos 3 sensores, não houve rejeição de nenhum valor de modo que fosse possível fazer um estudo mais real do comportamento dos mesmos.

Tabela 13- Valores médios da resistência em cinco posições diferentes no sensor 3 utilizando como calibração uma base retangular.

	Média das condutâncias ($k\Omega^{-1}$)				
Primeira Posição	4,94	10,40	17,71	32,00	44,35
Segunda Posição	3,75	17,22	28,81	41,16	58,22
Terceira Posição	4,34	13,79	26,48	29,64	39,18
Quarta Posição	3,12	11,56	19,24	23,51	29,61
Quinta Posição	1,73	2,67	3,84	5,13	5,12

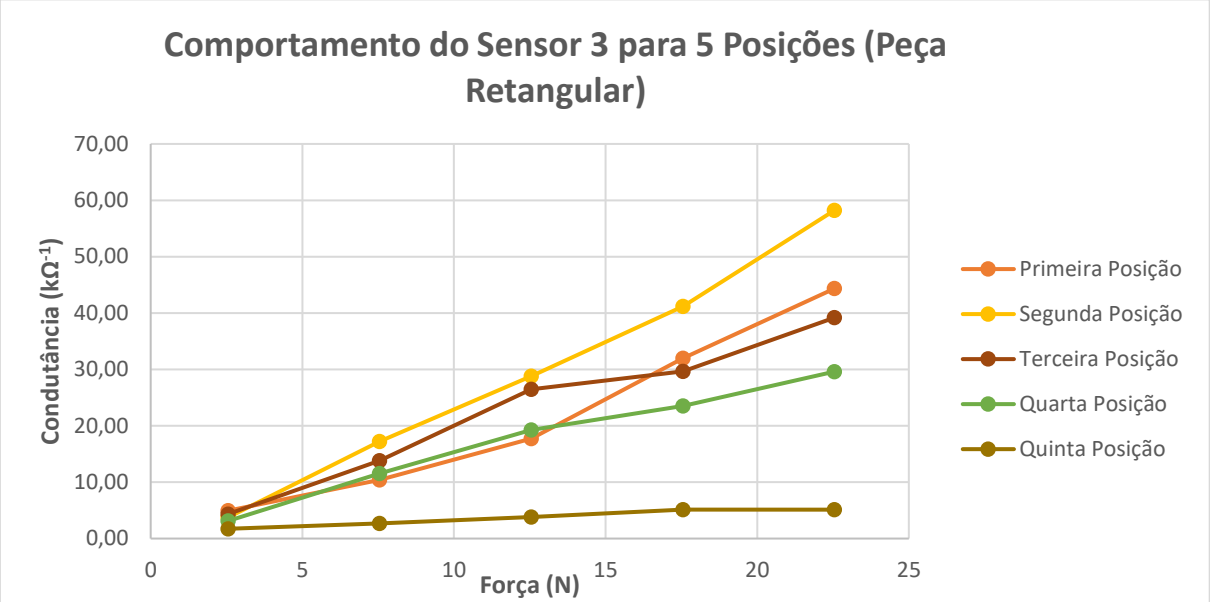


Figura 36 - Valores de condutância adquiridos no sensor 3 usando como calibração uma base retangular.

Ao analisar a figura 36, na terceira posição quando é exercida uma força de 17,55 N não existe grande oscilação em relação aos valores de condutância devido a existência de erros na calibração. O mesmo ocorreu com a quinta posição em que o sensor não adquiriu nenhum valor de condutância, mantendo-se quase em estado de repouso, certamente por má colocação dos pesos no processo de calibração.

3.31. Calibração com utilização de base circular

Um dos pontos fulcrais na construção dos sensores foi verificar a sua capacidade de assimilação dos valores de resistência e posteriormente de condutância. Para testar a sua eficácia e para verificar qual a melhor estratégia a aplicar foram utilizadas diferentes bases no processo de calibração. Assim, descreve-se o comportamento em relação à calibração recorrendo a uma base circular.

Sensor 1

No sensor 1 de área de 2.6 cm^2, o procedimento de calibração adotado foi similar ao adotado para a calibração com base retangular. Na tabela 14, estão descritos os valores obtidos de resistência posteriormente convertidos em condutância para a calibração nas diversas posições.

Tabela 14- Valores de calibração com base circular no sensor 1.

	Média das condutâncias ($k\Omega^{-1}$)				
Primeira Posição	3,97	10,75	17,63	19,22	26,97
Segunda Posição	0,78	0,87	1,09	1,26	1,40
Terceira Posição	3,83	9,41	12,61	15,98	18,40
Quarta Posição	3,56	11,58	19,73	25,68	34,47
Quinta Posição	1,76	5,34	7,78	8,64	11,82

Com base nos valores obtidos na tabela acima descrita, foi possível construir um gráfico de inter comparação em relação a cada posição calibrada (figura 37) . Na segunda posição, o sensor não adquiriu os dados, mantendo-se um estado de repouso. Este estado é devido a erros implícitos no processo de calibração.

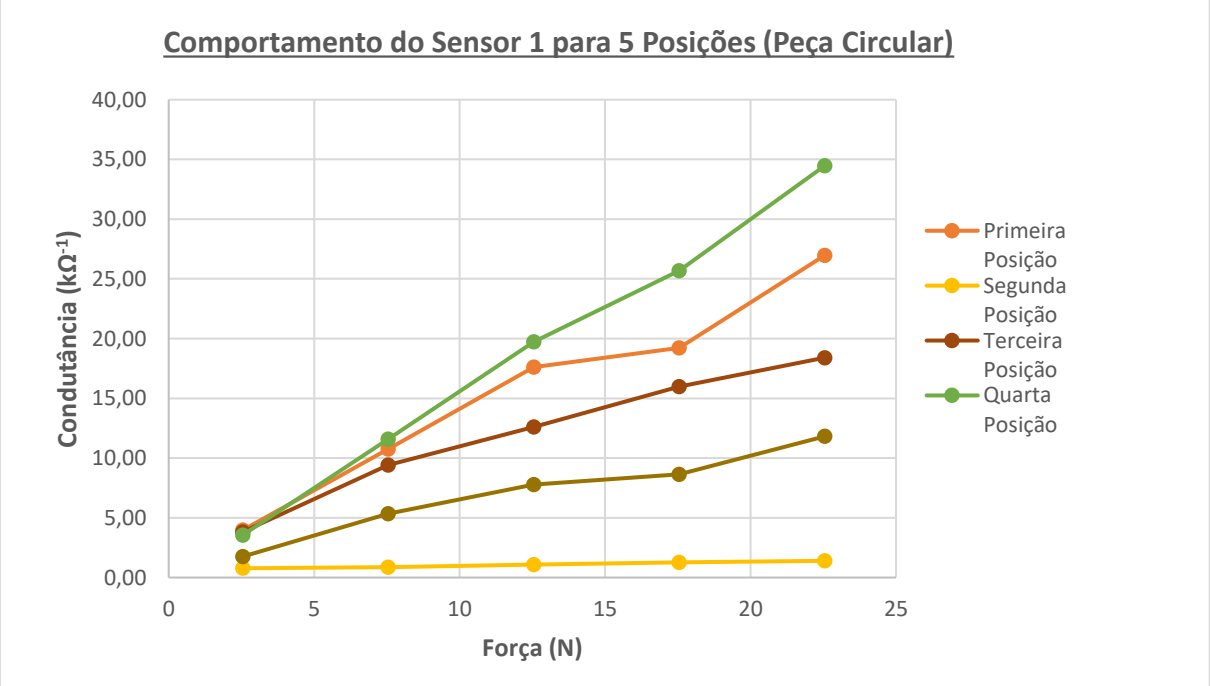


Figura 37- Sensor 1- Calibração com base circular

Sensor 2

No sensor 2 de área de 4 cm^2, o procedimento adotado foi similar ao adotado para o sensor 1. Na tabela 15 estão descritos os valores obtidos de resistência e condutância para a calibração nas diversas posições.

Tabela 15- Valores de condutância para o sensor 2 na calibração com base circular.

	Média das condutâncias ($k\Omega^{-1}$)				
Primeira Posição	**4,33**	**14,94**	**26,15**	**33,39**	**44,94**
Segunda Posição	**6,70**	**22,81**	**31,62**	**45,68**	**59,58**
Terceira Posição	**6,70**	**22,81**	**31,62**	**45,68**	**59,58**
Quarta Posição	**12,98**	**30,15**	**46,59**	**54,99**	**76,80**
Quinta Posição	**77,02**	**33,17**	**21,46**	**18,19**	**13,02**

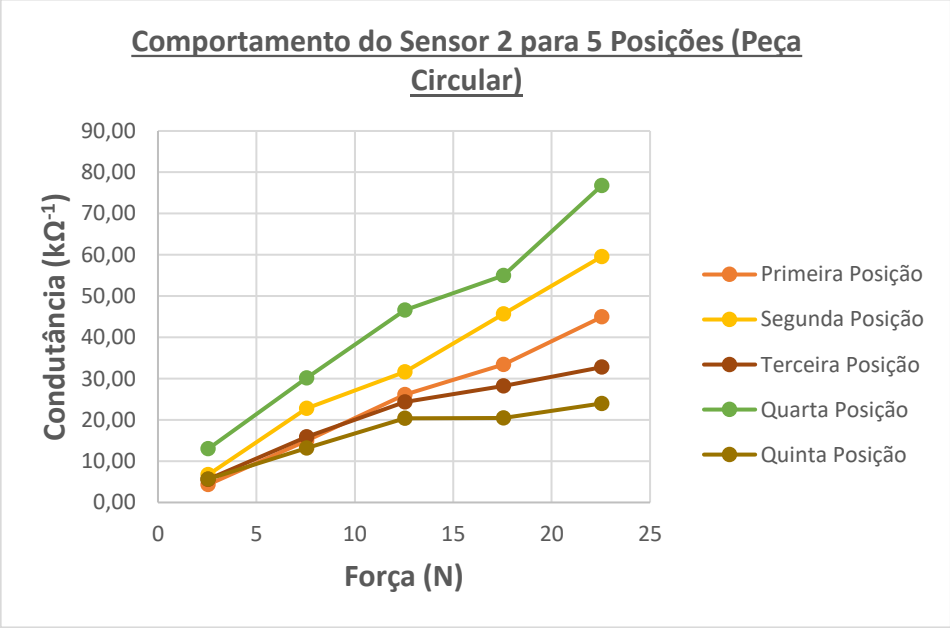


Figura 38- Sensor 2- Calibração recorrendo a base circular

Na figura 38, as cinco posições envolventes no processo de calibração apresentam um comportamento homogéneo, refletindo assim uma performance satisfatória na aquisição de dados por parte do sensor.

Sensor 3

No sensor 3 de área de 3cm^2, o procedimento adotado foi similar ao adotado para o sensor 1. Na tabela 16, estão descritos os valores obtidos de resistência e condutância para a calibração nas diversas posições.

Tabela 16- Valores de resistência adquirida em 5 posições no sensor 3 recorrendo a calibração de base circular.

	Média das condutâncias (kΩ^{-1})				
Primeira Posição	2,15	10,17	18,09	22,60	27,22
Segunda Posição	6,71	14,36	24,91	34,35	42,43
Terceira Posição	7,10	17,73	21,69	35,53	47,32
Quarta Posição	2,75	8,49	13,61	15,84	19,77
Quinta Posição	363,75	117,83	73,48	63,13	50,57

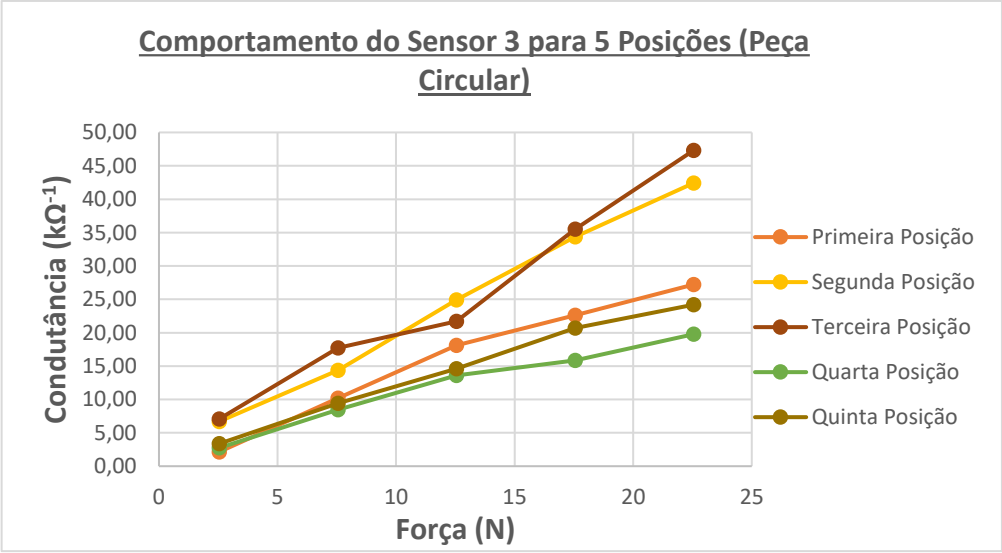


Figura 39- Valores de resistência das 5 posições adquiridos no processo de calibração circular.

Através da figura 39, verifica-se a homogeneidade de resultados em relação à aquisição de dados referentes à condutância. Na terceira posição, quando o sensor recebe uma carga de 12.55 N, o sensor em vez de aumentar o valor da condutância (a resistência decresce) este diminuiu

o que reporta a algum erro no processo de calibração como o mau contato dos pesos calibrados com a posição em questão.

3.32. Calibração da alça contendo sensores piezoresistivos

Após os testes isolados dos sensores piezoresistivos, optou-se pela construção manual de uma alça contendo 6 sensores piezoresistivos (figura 40) e fazer testes com carga diferente de modo a verificar a sua capacidade de aquisição de dados. Depois da sua construção esta foi aplicada do lado direito da mochila e passou-se ao processo de calibração. A calibração foi feita em andamento, ainda estando enquadrada nos testes preliminares.

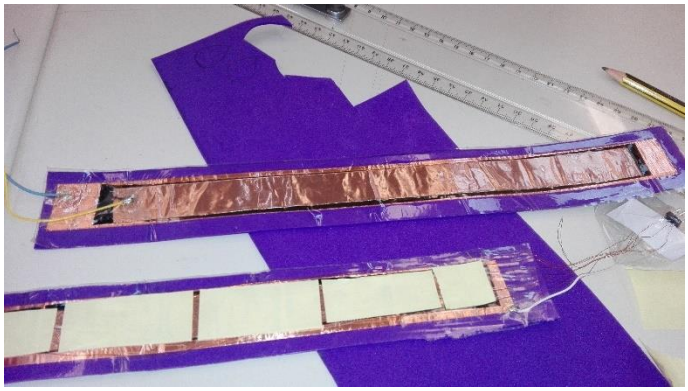


Figura 40- Alça contendo sensores piezoresistivos.

Para a elaboração dos testes escolheram-se livros escolares até perfazerem uma carga compreendida entre 2 kg e o 8 kg.

Nesta análise, verificou-se que o valor do zero do Arduíno entrava na aquisição de dados, por isso começou-se a implementar um método de subtração de valores após o tratamento dos dados de resistência, de modo a que esse valor adquirido em repouso fosse retirado. A tabela 17 resume os valores adquiridos ao longo deste processo.

Tabela 17- Valores de resistência após tratamento de dados.

Carga (kg)	*Valores da resistência após subtracção do valor de repouso (kΩ)*					
2 kg	-19644,78	92432,15	-8187,01	-180,65	-34,47	-101,12
3 kg	-12471,92	13281,29	-10332,76	-215,27	-74,55	-127,50
4 kg	-6524,47	2584,86	16733,58	-230,85	-141,75	-173,62
5 kg	4642,67	21564,94	-9662,28	-229,30	-122,48	-156,10
6 kg	-15343,11	-12238,80	-18084,34	-200,25	-162,48	-175,40
7 kg	-14804,87	-11279,13	-4263,34	-238,67	-164,55	-187,11
8 kg	-10778,23	10237,93	33795,61	-220,75	-158,59	-179,90
9 kg	-17482,28	118,25	-15226,38	-261,34	-163,96	-190,51

Após o tratamento dos dados de resistência foi possível tratar estes dados em relação aos valores de condutância que se apresentam na tabela 18.

Tabela 18-Valores das condutâncias em relação aos seis sensores da mochila.

Carga (kg)	*Valores das condutâncias (kΩ-1)*					
2kg	-0,05	0,01	-0,12	-5,54	-29,01	-9,89
3 kg	-0,08	0,08	-0,10	-4,65	-13,41	-7,84
4 kg	-0,15	0,39	0,06	-4,33	-7,05	-5,76
5 kg	0,22	0,05	-0,10	-4,36	-8,16	-6,41
6 kg	-0,07	-0,08	-0,06	-4,99	-6,15	-5,70
7 kg	-0,07	-0,09	-0,23	-4,19	-6,08	-5,34
8 kg	-0,09	0,10	0,03	-4,53	-6,31	-5,56
9 kg	-0,06	8,46	-0,07	-3,83	-6,10	-5,25

Após obter-se os valores de condutância prosseguiu-se para a construção da figura 41, onde se relaciona condutância em função do peso.

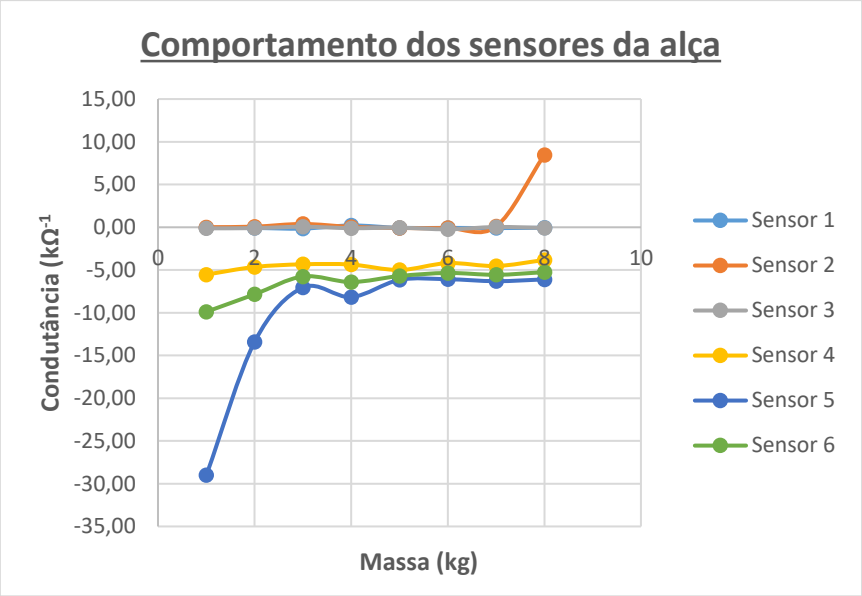


Figura 41 - Comportamento da alça na aquisição de dados relativamente aos sensores abrangidos.

Os seis sensores apresentam um comportamento similar neste processo de calibração, notando-se que existe um pico de condutância no sensor 2. Este pico regista-se quando a carga é máxima devido que com esta carga o utilizador que a transportava necessitou de realizar um ajuste nas alças.

No sensor 5 quando a carga era mínima,registou-se um pico acentuado de condutância devido a estar numa zona onde não existe um contato tão grande entre o utilizador e a mochila. Alguns dos picos visualizados na figura 41 são devido à localização dos sensores, estando eles espalhados numa zona compreendendo a lombar e zona dos ombros. Na zona da lombar é o local onde existe maior evidência da amplitude de valores (sensor 4,5 e 6 registam valores mais elevados) devido a não existir uma zona de contato tão grande como a que existe na zona dos ombros.

3.33. Testes funcionais do protótipo

Neste ponto apresentam-se os resultados obtidos do estudo funcional efetuado com o protótipo. Aborda-se o comportamento postural aplicando uma postura dinâmica com o transporte de carga, numa só alça como com as duas em conjunto, durante um trajeto em caminhada. Um dos objetivos é conseguir fazer uma análise do que acontece quando existe um transporte de carga superior ao estipulado (superior aos 10% da massa corporal do utilizador). O estudo foi efetuado com duas voluntárias do sexo feminino, uma com 10 anos e outra com 13 anos, sendo que aqui vai ser apresentado os resultados de uma só utilizadora devido a serem bastante similares entre si.

3.34. Informação sobre as voluntárias

De início, foi necessário efetuar um pequeno questionário verbal (Tabela 19), sobre o que as utilizadoras achavam da ideia de um protótipo reeducativo, bem como a apresentação da EmojiBackPack (figura 42). Após o primeiro contato com o protótipo, o qual se mostrou receptivo por parte das utilizadoras passou-se à fase de testes. É de salientar que as inquiridas referiam desconforto com a utilização da sua mochila escolar no seu quotidiano.

Tabela 19- Inquérito realizado às duas utilizadoras

	Utilizador 1	***Utilizador 2***
Sexo	Feminino	Feminino
Idade	13	10
Massa Corporal	62,17 kg	41.50 kg
Pratica desporto	Não	Sim
Presença ou não de dor ao transportar a mochila escolar	Dor na Zona Dorso-Lombar ao transportar a mochila escolar	Dor na zona dos ombros ao transportar a mochila escolar



Figura 42- Apresentação do protótipo à utilizadora de 10 anos.

3.35. Teste em caminhada com as duas alças

Este teste foi realizado com uma vasta gama de pesos, entre 1,5 kg e os 6 kg de modo a conseguir interpretar o que acontecia quando o transporte era realizado com a carga que não iria afetar o comportamento postural da voluntária como com excesso de carga . Para o tratamento de dados aplicou-se a equação 5 de modo a obter os valores de resistência.

$$Resistência = \frac{10000 * valor\ da\ interface\ obtida\ pelo\ sensor/arduino}{1024 - valor\ da\ interface\ obtida\ pelo\ sensor/arduino} \quad (5)$$

Onde resistência corresponde ao valor registado no sensor (kΩ) e 1024 corresponde ao valor em repouso adquirido pela interface arduíno-sensor.

Após o tratamento de dados recolhidos por volta de dois minutos de caminhada, foi possível construir um gráfico com a variável condutância onde se verifica o comportamento aquando o transporte da carga.

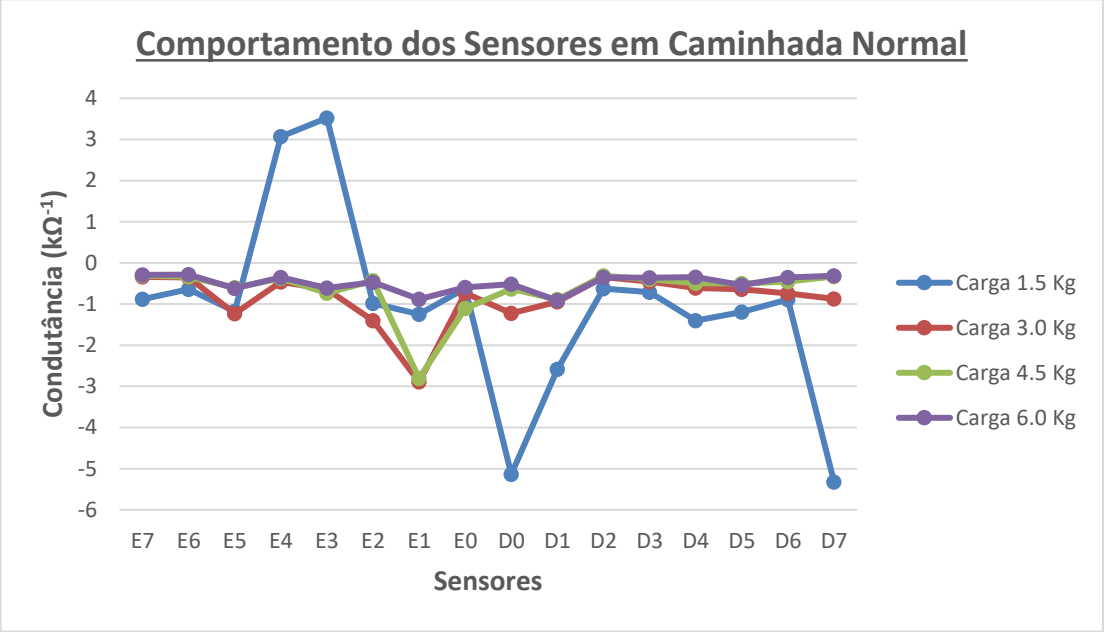


Figura 43- Aquisição de dados ao longo de um percurso de caminhada.

Com a visualização da figura 43, concluiu-se que com a carga de 1,5 kg, o protótipo está mais instável devido a não conter quase carga nenhuma em relação à massa corporal da voluntária e por isso o aparecimento dos picos visualizados na figura 43. Estes picos acontecem devido a oscilações que as alças tiverem durante o percurso, não havendo contato direto da alça com o utilizador. Na carga de 3kg e 4,5kg, na alça esquerda a voluntária ajustou a alça e por isso o decréscimo acentuado da condutância, estando o sensor a assumir um papel de repouso.

Como houve uma simetria nas alças, mesmo com excesso de carga, os sensores não detetaram muita discrepância em relação uns aos outros. Em relação à inclinação feita esta é demonstrada na figura 44. O aumento da carga transportada influência negativamente a inclinação no plano sagital ao qual começa a ser proeminente o valor associado a ela.. Embora apareça também alguma inclinação relativa ao plano lateral, esta não revela grande influência ao nível postural.

Ao valor da carga transportada foi necessário colocar o incremento do peso do protótipo, rondando este por volta de 500 gramas. Este peso é devido à configuração da própria mochila bem como da incorporação dos componentes eletrónicos. A gama de valores de 0,5 kg é considerado o teste de “repouso” onde só se avalia a influência do protótipo sem carga a ser transportada, por isso é que não existe nenhuma inclinação tanto no plano sagital como no plano lateral.

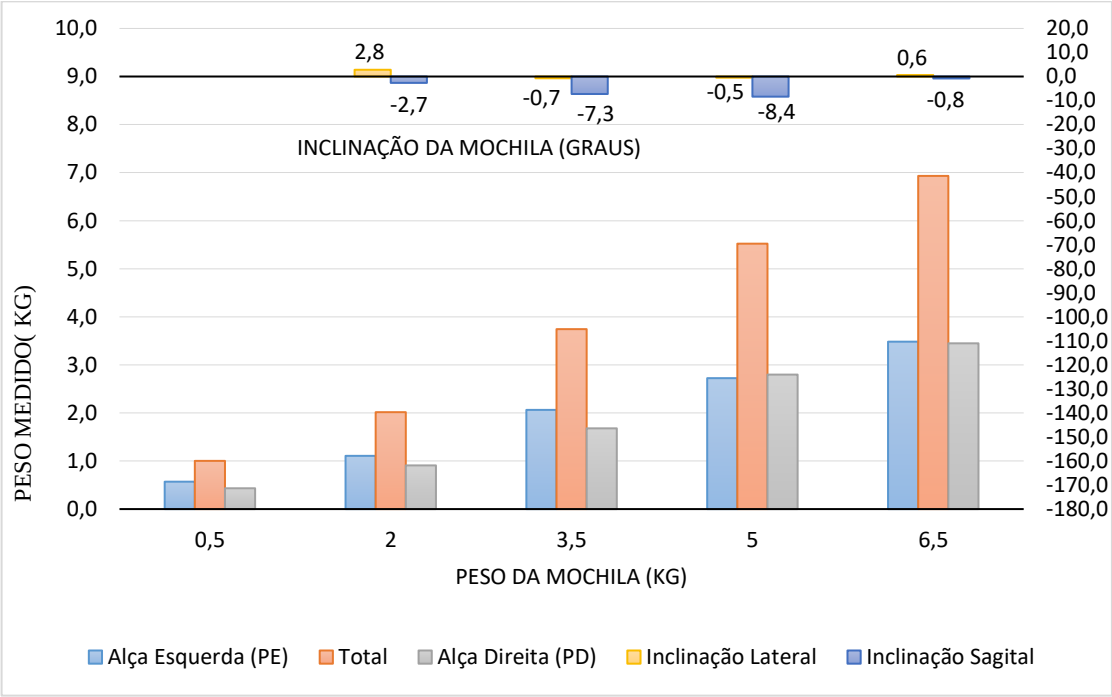


Figura 44- Valores relativos à inclinação postural formada aquando o transporte de carga no protótipo.

3.36. Teste em caminhada com uma alça

O teste efetuado numa só alça utilizou a mesma gama de valores do que o teste com as duas alças, bem como o mesmo tempo de percurso. Neste teste a voluntária, trocou de ombro de modo que fosse possível verificar como seria distribuído a carga com esta troca.

Na figura 45 é percetível a quase simetria existente no que toca a aquisição de valores tanto pela alça esquerda como pela alça direita. Na alça direita, com a carga máxima de 6 kg, e pelo desconforto sentido, a voluntária tentou aliviar o mesmo recorrendo ao ajuste da alça durante o percurso, aparecendo assim os picos máximos em relação aos valores de condutância. Através da figura 45 também se consegue obter informação em relação aos sensores E7 e D7, revelando que a zona de contato entre o sensor e a carga transportada é menor (sensores localizados já na zona dorso-lombar).

Em relação à influência do transporte de carga no comportamento postural, através da figura 46, revela que quando a carga transportada pela utilizador ainda está dentro dos 10 % recomendáveis em relação à sua massa corporal, existe uma inclinação muito predominante no que diz respeito ao plano lateral. Contudo quando a carga transportada é superior ao

recomendável, revela-se a existência de uma inclinação tanto no plano lateral como no plano sagital. A inclinação sagital revela que quando existe um transporte com excesso de carga o utilizador tende a equilibrar as forças exercidas para contariar a carga levada com uma inclinação lateral do tronco bem como uma inclinação do mesmo para a parte frontal (inclinação no plano sagital).

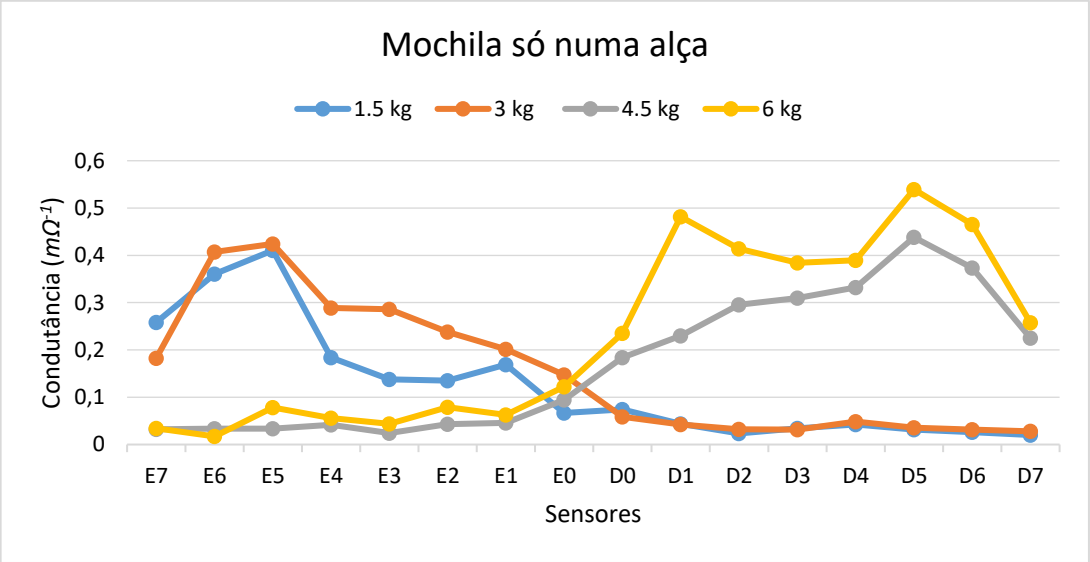


Figura 45- Teste funcional relativo ao processo de caminhada numa só alça.

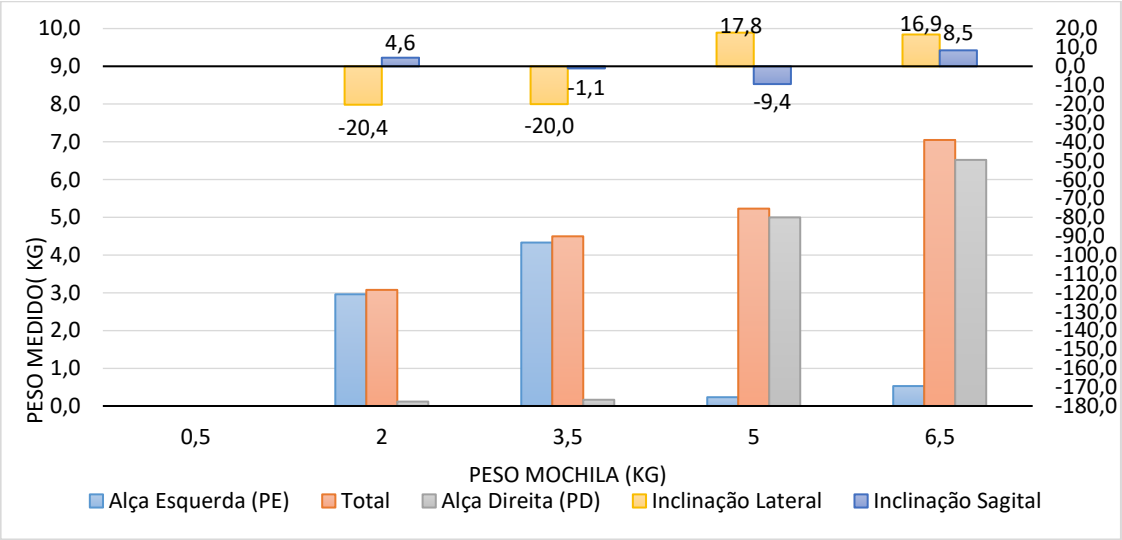


Figura 46- Estudo da inclinação provocado por o transporte da carga com uma alça só.

Numa perspetiva de entender melhor o papel de aquisição e tratamento de dados nos testes funcionais foi necessário calcular o contributo de cada sensor para o cálculo do peso transportado. Para isso,foi necessário efetuar testes em laboratório até encontrar a correlação matemática mais plausível. Numa primeira instância através de um grupo de valores obtidos conseguiu-se chegar a seguinte equação 6.

$$P_i = 2133\frac{1}{R_i} - 0{,}1229 \tag{6}$$

Onde P_i é o peso aplicado a cada célula de carga e R_i a resistência obtida em cada sensor em kΩ.

Esta equação serviu para a conseguir relacionar o peso com o inverso da resistência, grandeza utilizada ao longo deste projeto. Contudo, esta equação não visava o contribuição gravítica que cada sensor iria ter, por isso foi desenvolvida uma nova equação (equação 7), agora com a contribuição gravítica.

$$P_{E,D} = \sum_{i=0}^{7} P_i \sin\left(50 + 20i\right) \tag{7}$$

Onde P_i é o peso aplicado a cada célula de carga.

Deste modo e visualizando a figura 47, entende-se que só os sensores 2, 3 e 4 vão conseguir ter o maior contributo da carga devido aos valores angulares registados.

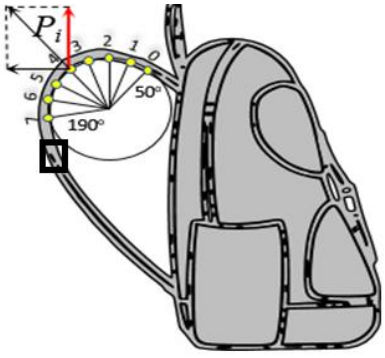


Figura 47- Posicionamento dos sensores na alça

Devido a este pressuposto, verifica-se que os sensores mais afastados da zona do ombro são os que registam os menores valores de condutância ($k\Omega^{-1}$).

O contributo do peso (força exercida) não se faz sentir com uma presença tão forte como nos sensores que se situam na zona dos ombros. Através da visualização da figura 48 , é possível notar que nos sensores mais afastados (E7 e D7) são aqueles que em termos de cálculo de massa registam menores valores originando assim valores de condutância negativa .

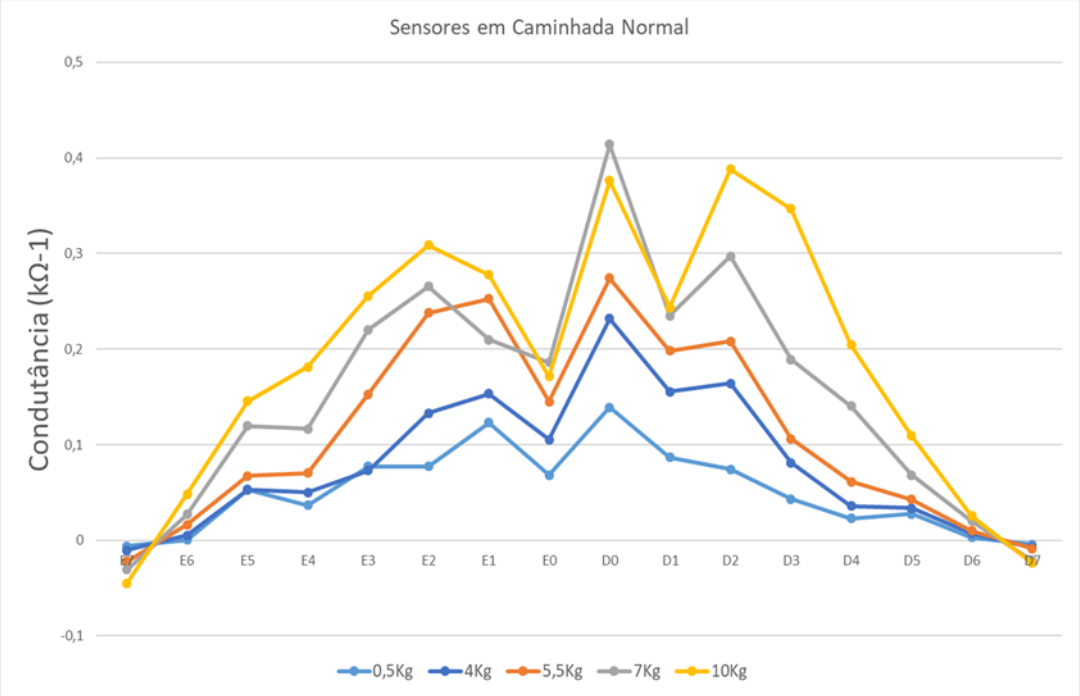


Figura 48- Gráfico relativo à voluntária na faixa etária de 13 anos.

4. Conclusões e trabalhos futuros

Neste trabalho de projeto foi descrito o desenvolvimento de um protótipo funcional de mochila com capacidade de monitorização de carga nas alças e com uma importante interface motivacional para com o utilizador, relativamente à prevenção de carga excessiva e à postura adequada. Importa referir que o protótipo se encontra ainda em fase experimental, sendo que os resultados apresentados neste projeto são os obtidos até ao momento. Contudo, os dados recolhidos a partir dos testes funcionais demonstram uma viabilidade tanto no conceito como no tipo de dispositivo. Importa ainda referir a boa capacidade de aquisição de dados por parte dos sensores piezoresistivos considerados no desenvolvimento do protótipo.

O desenvolvimento deste trabalho de projeto permitiu a aquisição de um conjunto de competências importantes no contexto da caminhada realizada. Desde logo, para a realização do projeto, foi necessário aprofundar conhecimentos sobre o que envolvia a conceção e o desenvolvimento de um produto, desde a sua génese até ao protótipo funcional. Uma das etapas importantes passou pela identificação dos produtos existentes no mercado ou registados. Um dos objetivos no desenvolvimento do protótipo visou a possibilidade de o mesmo poder vir a ser comercializado. Assim, foram também pesquisados e tidos em conta os materiais que apresentassem as melhores características, mas que também tivesse implícito o binóminio custo-qualidade, de modo a que o produto possa vir a ser competitivo. Finalmente, o facto de se tratar de um protótipo funcional, materializado, permitiu o contacto com diversos materiais e equipamentos em contexto real, alargando o leque de conhecimentos e competências adquiridas.

Na continuidade de desenvolvimento do protótipo pretendem-se executar diversos testes que conduzam à melhoria do seu comportamento e fazer uma pesquisa mais aprofundada quanto ao público-alvo em que este protótipo se pode enquadrar. Pretende-se ainda desenvolver uma APP que recorra aos Emojis como referência e onde os dados adquiridos pelo árduino possam vir a ser enviados por Bluetooth para o telemóvel ou tablet do utilizador. A figura 49 mostra os desenvolvimentos já efetuados neste campo, nomeadamente o layout já definido para o jogo que se pretende vir a interagir com o utilizador. Se o utilizador adotar uma postura correta durante a utilização do protótipo, conseguirá ganhar “vidas” para que possa avançar ao nível

do jogo. Se o utilizador desempenhar uma postura incorreta no jogo irá perder "vidas" estando assim impedido de utilizar algumas definições aplicadas no jogo, como por exemplo a aquisição de comida para o Emoji e a sua personalização.



Figura 49- Layout do jogo criado da EmojiBackPack

5. Bibliografia

B.A.Almaki. (2014). *USA Patente Nº 89105843 B2.*

Barros, R. F. (2008). *Transporte de cargas escolares em populações jovens : implicações posturais decorrentes da utilização de sacos escolares.* Universidade do Minho- Escola de Engenharia.

Carvalho & Fadigas (2017). *O Peso das Mochilas escolares : contributo para a reflexão fundamentada.* ORE- Observatório dos recursos Educativos. Obtido em 1 de 12 de 2017, de www.observatorio.org.pt

Carvalho, M. (2014). *Desenvolvimentode matrizes de sensores piezoresistivos para aplicações avançadas.* Universidade do Minho- Escola de Engeharia.

Coelho, M. S. (2009). *Estudo da Frequência de Lesões Musculo-Esqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT) em profissionais de enfermagem- Proposta de um programa de ginástica laboral.* Universidade do Porto- Faculdade de Desporto.

Comerlato, T. (2007). *Avaliação da Postura Corporal Estática no plano frontal a partir de uma imagem digital.* Universidade Federal do Rio Grande do Sul- Escola de Educação Física.

Completo, A., & Fonseca, F. (2011). *Fundamentos de Biomecânica - Músculo Esquelética e Ortopédica.* Publindústria.

D.Monaham. (2016). *"iBackpack: The next generation backpack".* Obtido de https://ibackpack.newswire.com

Gonçalves, B. F. (2015). *Desenvolvimento de uma matriz de sensores Piezoresistivos baseados em técnicas de impressão* . Universidade do Minho- Escola de Ciências.

H.Jian, & H.X.Yi. (2014). *China Patente Nº 104223720A.*

Hong, Y., & Cheun, C.-k. (Março de 2002). Gait and Posture responses to backpack load during level walking in children.

Kalantari, M., Dargahi, J., Kovecses, J., Ghanbari, M., & Nouri, S. (s.d.). A new Approach for Modeling Piezoresistive Force Sensors Based on Semi-Condutive Polymer Composistes.

Marquesan, F. M. (2012). *Análise da função muscular em idosas com ou sem fibriomialgia.* Porto Alegre.

Martins, C. M. (2009). *Análise Postural no Âmbito do desporto/saúde- caracterização de jovens universitários.* Covilhã.

Minhoto, S. M. (2013). *Caracterização da postura estática de estudantes com sobrecarga (mochilas) ás costas.* Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.

Pereira, J. P. (2009). *Efeito Piezoresistivo em Polímeros Condutores em Substrato Fléxivel.* Universidade do Minho.

Pina, J. E. (2010). *Anatomia Humana da Locomoção* (4º ed.). LIDEL.

S.Laniado, & O.Laniado. (2007). *USA Patente Nº 0056779AL.*

Sáude, D. G. (2008). *Lesões Musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho- Guia de Orientação para a Prevenção.*

Siwak, G., & A.Gorga. (2008). *USA Patente Nº 0011568AL.*

Souza, A. K. (2016). *A influência do peso da mochila escolar de alças sobre o controle postural de crianças.* Universidade Estatual de Londrina.

6. Anexos

6.1. Aquisição de valores adimensionais por parte da interface Árduino-Sensor

Sensor 1

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*3.55*	*4.55*	*5.55*	*6.55*	*7.55*	*8.55*
1	250	170	141	110	98	67	58
2	255	164	140	110	103	66	58
3	261	167	136	110	100	70	61
4	249	170	132	113	98	69	58
5	272	163	136	112	95	69	61
6	246	161	138	109	93	73	56
7	253	173	135	113	98	67	60
8	252	167	135	109	95	66	60
9	246	158	135	116	96	70	63
10	253	167	133	110	98	66	58
11	261	172	140	112	100	67	55
12	255	163	129	107	95	64	58
13	260	163	130	109	95	67	63
14	253	156	130	107	100	69	58
15	266	156	132	109	92	72	58
16	246	163	129	120	95	66	56
17	249	155	141	110	93	64	55
18	263	167	127	109	92	64	60
19	244	163	141	116	93	67	63
20	261	155	130	120	95	64	55
21	243	167	129	110	95	69	55
22	260	163	141	112	100	64	56
23	247	160	140	112	92	70	55
24	253	170	136	107	92	64	60
25	261	169	140	116	90	69	60
26	261	163	130	110	95	64	55
27	261	158	127	110	98	64	58
28	256	164	126	107	95	64	58
29	264	164	133	120	90	69	56
30	244	167	133	115	90	69	61
31	240	153	129	110	95	69	56
32	249	156	127	107	98	63	60
33	241	160	126	115	98	64	58
34	246	153	126	116	98	63	60
35	252	166	132	116	95	67	58
36	247	167	126	107	95	61	56
Média	253.33	163.14	133.08	111.69	95.56	66.67	58.22
Resistência(kΩ)	328.72	189.51	149.38	122.43	102.92	69.64	60.29
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.04	5.28	6.69	8.17	9.72	14.36	16.59

Sensor 2

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*3.55*	*4.55*	*5.55*	*6.55*	*7.55*	*8.55*
1	146	118	87	70	66	49	44
2	143	112	81	72	70	53	44
3	141	109	89	70	63	49	47
4	140	110	87	73	64	49	43
5	143	110	89	75	66	49	41
6	143	112	80	70	69	49	41
7	140	112	81	67	69	50	47
8	149	113	86	73	64	50	44
9	144	109	84	69	66	53	46
10	149	113	81	69	66	49	41
11	147	118	84	75	69	47	44
12	153	118	87	69	64	52	41
13	146	116	84	75	70	50	40
14	150	118	84	70	64	49	44
15	153	118	86	70	63	49	46
16	155	112	78	76	63	50	44
17	152	120	78	70	67	49	44
18	141	113	73	73	64	55	41
19	153	118	80	75	66	53	40
20	150	116	81	67	69	50	43
21	153	118	72	67	69	49	41
22	152	109	81	72	63	49	44
23	152	115	75	75	70	49	43
24	147	109	73	75	63	53	41
25	144	110	75	70	63	55	44
26	140	109	72	73	63	49	40
27	150	115	76	67	61	52	41
28	150	118	72	73	63	47	41
29	140	115	78	69	67	49	41
30	153	109	73	67	64	47	46
31	140	112	70	67	64	49	43
32	143	107	75	76	66	47	41
33	144	109	75	67	64	53	41
34	152	113	72	70	64	47	40
35	140	115	72	72	64	47	43
36	149	112	76	70	64	49	43
Média	146.86	113.33	79.08	71.06	65.39	49.86	42.72
Resistência(kΩ)	167.43	124.45	83.69	74.56	68.21	51.18	43.54
Condutância ($kΩ^{-1}$)	5.97	8.04	11.95	13.41	14.66	19.54	22.97

Sensor 3

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*3.55*	*4.55*	*5.55*	*6.55*	*7.55*	*8.55*
1	236	220	160	129	110	104	84
2	243	235	160	126	121	104	84
3	232	223	170	127	113	101	84
4	232	218	160	136	123	106	81
5	236	236	170	132	118	106	87
6	241	232	164	127	120	106	83
7	238	213	163	138	113	101	90
8	241	216	173	132	113	101	87
9	252	220	156	136	112	110	90
10	213	216	170	130	123	109	84
11	301	229	156	126	115	100	84
12	312	224	160	130	110	110	87
13	275	212	158	140	110	103	81
14	273	218	156	136	110	101	87
15	270	224	170	129	113	109	83
16	264	221	170	126	110	104	80
17	266	215	164	136	115	98	87
18	270	212	156	138	121	101	80
19	255	221	156	132	120	100	81
20	258	223	166	129	109	106	83
21	272	213	160	126	112	98	84
22	258	224	172	129	110	98	83
23	249	218	156	130	113	104	84
24	266	218	164	129	118	98	84
25	249	210	169	129	110	106	81
26	256	221	161	126	120	107	89
27	244	209	158	133	109	98	84
28	247	220	161	136	112	107	84
29	260	230	166	132	118	101	87
30	240	213	163	124	118	98	87
31	243	226	163	124	110	101	78
32	243	209	160	138	120	104	84
33	256	224	173	138	109	107	80
34	246	226	172	138	110	106	80
35	263	215	161	127	109	98	86
36	250	226	170	135	115	100	80
Média	254.17	220.28	163.53	131.36	114.22	103.08	83.94
Resistência(kΩ)	330.16	274.07	190.04	147.16	125.55	111.94	89.30
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.03	3.65	5.26	6.80	7.96	8.93	11.20

Sensor 4

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*3.55*	*4.55*	*5.55*	*6.55*	*7.55*	*8.55*
1	223	203	172	138	100	73	72
2	230	198	175	149	100	75	73
3	233	184	178	149	96	73	73
4	224	186	184	143	92	78	70
5	235	198	164	147	93	76	73
6	221	184	170	146	92	81	76
7	223	203	184	136	93	78	72
8	221	189	164	138	101	76	76
9	232	184	176	144	100	73	78
10	241	184	172	150	92	76	78
11	221	186	166	141	103	73	70
12	220	184	163	144	90	70	73
13	218	184	161	150	98	76	78
14	218	181	163	150	100	80	75
15	227	193	167	141	95	70	72
16	236	201	163	135	90	72	69
17	216	186	173	141	98	70	69
18	229	196	166	141	98	72	76
19	221	200	161	140	92	76	69
20	221	193	172	136	101	72	73
21	241	183	164	136	89	76	69
22	216	187	178	146	100	75	72
23	216	192	181	141	96	72	72
24	235	187	169	149	96	73	69
25	226	198	160	140	100	72	70
26	218	184	169	147	92	69	70
27	226	201	160	135	93	78	76
28	220	186	163	136	93	75	69
29	227	192	178	132	90	69	70
30	216	178	161	144	92	72	69
31	235	200	178	147	101	72	72
32	220	184	178	135	101	72	69
33	233	187	164	150	87	78	73
34	236	181	173	132	100	69	67
35	238	196	169	132	89	70	67
36	216	181	170	136	96	73	70
Média	225.81	189.83	169.69	141.58	95.53	73.75	71.92
Resistência(kΩ)	282.90	227.57	198.63	160.45	102.89	77.61	75.54
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.53	4.39	5.03	6.23	9.72	12.88	13.24

Sensor 5

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*3.55*	*4.55*	*5.55*	*6.55*	*7.55*	*8.55*
1	256	206	155	144	109	80	78
2	236	200	158	141	104	78	81
3	260	215	153	147	110	86	86
4	236	196	161	141	109	81	87
5	243	198	158	146	101	78	84
6	236	198	147	140	112	78	84
7	236	207	161	155	101	84	78
8	236	216	150	140	112	87	86
9	233	215	161	140	101	84	80
10	233	195	163	138	107	86	76
11	232	195	152	140	107	80	76
12	240	201	158	150	104	83	84
13	256	209	149	138	101	83	80
14	256	203	158	152	106	84	83
15	238	196	158	141	107	83	80
16	233	215	160	141	110	80	84
17	240	195	150	140	110	86	76
18	238	195	155	138	101	87	80
19	235	213	147	138	112	78	76
20	232	213	150	146	106	87	78
21	256	213	150	138	113	80	84
22	249	204	156	140	101	86	76
23	232	203	155	141	109	87	83
24	232	200	152	138	101	83	81
25	232	203	152	149	101	84	80
26	252	212	147	138	107	84	84
27	236	215	146	143	106	87	76
28	247	196	156	141	107	76	78
29	230	203	155	138	104	81	81
30	230	201	150	147	101	78	83
31	236	209	149	147	101	81	80
32	252	204	155	149	109	76	80
33	235	213	144	143	104	81	84
34	230	210	155	136	101	84	78
35	255	207	153	147	101	78	81
36	233	213	147	138	103	78	84
Média	240.06	205.19	153.50	142.47	105.53	82.14	80.83
Resistência(kΩ)	306.22	250.60	176.34	161.62	114.89	87.21	85.70
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.27	3.99	5.67	6.19	8.70	11.47	11.67

Sensor 6

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*3.55*	*4.55*	*5.55*	*6.55*	*7.55*	*8.55*
1	287	229	184	180	141	107	64
2	296	233	200	190	136	106	69
3	301	236	198	181	132	109	69
4	293	227	192	178	140	107	64
5	309	227	184	183	129	103	67
6	309	232	186	176	133	109	69
7	315	247	196	172	140	101	64
8	286	247	195	172	129	98	63
9	312	241	195	178	127	103	64
10	307	226	189	190	133	106	63
11	287	226	187	172	136	100	67
12	286	235	203	186	135	101	63
13	287	227	190	172	126	107	66
14	307	244	186	173	126	106	63
15	287	224	187	184	129	98	61
16	295	227	189	175	132	103	64
17	309	227	196	170	127	104	64
18	286	232	195	178	130	98	66
19	309	232	187	170	127	109	61
20	300	241	196	181	126	100	64
21	310	246	192	178	129	107	67
22	286	246	198	178	136	110	64
23	283	226	196	170	126	109	63
24	284	233	200	176	127	98	66
25	286	233	193	183	127	106	63
26	283	232	181	178	136	101	66
27	284	241	184	180	133	107	66
28	289	240	200	170	130	101	63
29	292	227	193	172	130	109	61
30	284	227	184	189	127	100	58
31	283	244	193	180	126	101	64
32	300	244	189	169	126	107	58
33	283	230	196	169	140	109	58
34	286	229	184	176	126	109	60
35	283	221	198	184	138	100	60
36	304	220		169	133	100	63
Média	294.11	233.31	191.89	177.28	131.22	104.14	63.75
Resistência(kΩ)	397.51	291.38	227.86	206.93	145.35	111.99	65.70
Condutância ($kΩ^{-1}$)	2.52	3.43	4.39	4.83	6.88	8.93	15.22

6.2. Valores Reativos Tendo em conta Área e base de calibração

Sensor 1 (2,6 cm^2)

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*7.55*	*12.55*	*17.55*	*22.55*
1	192	72	35	27	26
2	175	70	35	27	26
3	175	73	36	30	26
4	190	70	36	30	24
5	186	67	35	27	26
6	180	72	38	27	24
7	173	69	38	29	24
8	176	72	36	27	24
9	186	75	41	27	26
10	175	67	36	30	27
11	186	70	36	27	23
12	176	66	38	29	24
13	189	73	38	29	24
14	176	70	36	29	24
15	189	69	35	30	26
16	176	70	35	27	24
17	180	70	33	27	24
18	192	75	35	30	24
19	178	69	35	29	24
20	175	69	35	29	26
21	175	66	36	27	23
22	189	70	38	29	24
23	173	72	35	26	26
24	183	66	35	27	23
25	184	72	35	27	24
26	183	72	38	27	24
27	187	72	35	29	26
28	172	66	38	27	24
29	173	67	35	27	26
30	175	69	35	27	24
31	186	69	36	26	21
Média	180.8	70.0	36.1	27.9	24.5
Resistência(kΩ)	214.43	73.34	36.50	28.05	24.56
Condutância (kΩ^{-1})	4.66	13.64	27.39	35.66	40.71

Sensor 2 (4cm²)

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*7.55*	*12.55*	*17.55*	*22.55*
1	112	38	24	18	16
2	103	38	27	18	15
3	112	35	26	18	15
4	106	33	24	20	15
5	107	38	27	20	16
6	104	35	26	18	16
7	101	38	26	20	15
8	104	38	26	16	15
9	112	38	24	20	16
10	101	33	24	16	15
11	104	36	26	18	15
12	104	38	26	16	15
13	101	33	24	20	15
14	100	38	24	16	15
15	103	36	27	16	15
16	100	35	26	18	15
17	109	33	24	18	15
18	104	35	24	18	15
19	101	36	27	18	13
20	100	35	24	18	15
21	107	35	24	18	15
22	98	38	24	20	15
23	101	36	24	18	15
24	98	35	24	18	16
25	103	38	23	20	16
26	103	33	24	16	15
27	103	38	27	18	13
28	104	35	23	18	15
29	101	35	26	16	15
30	101	36	24	20	15
31	98	33	26	18	15
Média	103.387	35.839	25.000	18.065	15.065
Resistência(kΩ)	112.30	36.27	25.03	17.96	14.93
Condutância ($kΩ^{-1}$)	8.90	27.57	39.96	55.69	66.97

Sensor 3 (3 cm^2)

Tempo(s)\Força(N)	*2.55*	*7.55*	*12.55*	*17.55*	*22.55*
1	124	55	27	27	20
2	124	55	30	30	20
3	123	55	30	29	23
4	129	56	32	32	21
5	127	56	27	30	20
6	127	55	27	27	20
7	123	56	32	32	21
8	121	60	27	32	20
9	121	53	32	29	23
10	123	58	32	30	21
11	121	56	32	30	23
12	121	60	29	32	20
13	123	53	30	29	21
14	124	55	29	30	21
15	121	58	32	29	20
16	121	55	32	30	21
17	121	53	29	32	21
18	121	60	32	27	20
19	130	55	29	27	20
20	129	53	29	30	20
21	130	55	33	29	20
22	127	53	29	32	20
23	120	53	32	29	18
24	121	56	27	27	20
25	124	60	32	29	21
26	127	53	30	30	20
27	120	53	30	29	20
28	129	56	29	27	20
29	124	56	30	30	20
30	124	55	29	27	21
31	126	56	29	29	21
Média	124.06	55.58	29.97	29.42	20.55
Resistência(kΩ)	137.8593	57.39316	30.14766	29.57966	20.47771
Condutância ($kΩ^{-1}$)	7.25377	17.42368	33.17008	33.80702	48.83359

6.3. Variação de Posições e Formatos de Sensores

Sensor 1 (Peça Retangular)

	Primeira Posição				
Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	236	112	63	40	36
2	243	101	58	43	32
3	244	113	61	40	36
4	238	110	63	40	33
5	253	107	63	41	32
6	240	109	64	41	35
7	240	112	58	44	32
8	233	103	58	40	35
9	235	101	58	38	36
10	250	112	63	44	35
11	247	106	60	43	35
12	233	104	58	38	33
13	249	109	58	43	33
14	246	104	61	43	33
15	253	101	58	43	32
16	236	101	60	41	33
17	233	103	63	43	32
18	255	101	61	40	30
19	252	104	63	44	32
20	230	110	60	40	32
21	233	101	58	40	32
22	244	101	63	43	32
23	253	110	61	40	35
24	238	113	63	40	30
25	238	112	66	41	35
26	244	101	60	41	35
27	235	101	58	38	35
28	236	100	60	41	35
29	246	109	58	40	30
30	236	101	60	40	30
31	249	101	66	40	33
Média	241.87	105.58	60.77	41.06	33.19
Resistência(kΩ)	309.25	114.96	63.09	41.78	33.50
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.23	8.70	15.85	23.94	29.85

Segunda Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	384	196	152	133	126
2	387	187	156	141	116
3	378	195	170	141	113
4	416	207	153	138	124
5	386	189	152	130	127
6	381	195	150	127	118
7	375	192	160	135	113
8	413	200	158	138	121
9	378	192	169	129	115
10	396	206	160	126	113
11	398	201	156	129	113
12	406	196	153	126	113
13	381	186	166	132	116
14	364	195	167	127	121
15	366	187	149	136	126
16	378	201	150	126	113
17	407	192	149	138	118
18	366	190	160	133	120
19	395	192	160	133	115
20	387	206	152	138	124
21	381	184	166	127	124
22	363	186	155	126	113
23	383	203	150	129	124
24	389	187	153	127	120
25	373	186	147	126	126
26	367	192	164	126	121
27	393	189	161	129	113
28	360	204	147	129	123
29	387	189	161	126	113
30	367	183	161	130	113
31	363	204	156	136	126
Média	382.84	193.94	156.87	131.19	118.74
Resistência(kΩ)	597.10	233.64	180.91	146.95	131.17
Condutância ($kΩ^{-1}$)	1.67	4.28	5.53	6.81	7.62

Terceira Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	543	390	253	226	207
2	530	412	261	224	218
3	541	395	246	233	226
4	541	413	246	226	203
5	516	387	264	232	220
6	555	378	276	236	215
7	536	376	269	226	220
8	510	400	247	243	201
9	510	392	253	227	223
10	538	387	240	226	220
11	533	410	236	226	203
12	520	407	238	233	200
13	521	404	236	246	204
14	518	375	246	240	212
15	553	375	253	247	215
16	501	375	238	224	207
17	504	410	238	224	200
18	515	378	246	241	201
19	526	390	246	224	201
20	507	376	238	235	210
21	540	386	244	227	200
22	524	376	249	247	215
23	504	376	240	246	200
24	509	409	233	224	220
25	503	376	233	224	200
26	521	393	246	224	201
27	529	413	249	247	204
28	500	410	247	226	201
29	503	396	256	224	201
30	518	403	238	236	206
31	500	400	233	223	218
Média	521.58	392.52	246.39	231.84	208.77
Resistência(kΩ)	1038.14	621.58	316.85	292.67	256.09
Condutância ($kΩ^{-1}$)	0.96	1.61	3.16	3.42	3.90

Quarta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	341	64	43	27	21
2	340	64	41	30	23
3	333	67	44	27	26
4	329	66	41	27	24
5	307	66	43	27	26
6	307	63	43	29	23
7	332	64	40	29	26
8	316	70	44	32	21
9	330	72	41	29	21
10	306	67	38	30	24
11	327	66	38	30	24
12	306	72	40	30	23
13	321	63	38	30	23
14	298	66	40	29	23
15	306	63	38	27	23
16	309	70	41	30	21
17	326	63	38	30	21
18	295	64	43	32	24
19	315	66	41	29	21
20	301	69	43	27	24
21	307	69	40	29	21
22	295	67	40	32	21
23	312	61	40	27	23
24	310	64	36	27	21
25	318	66	36	32	23
26	303	66	36	32	24
27	307	66	40	32	20
28	289	67	40	27	21
29	287	64	38	30	21
30	304	67	41	27	21
31	293	63	41	29	24
Média	311.94	65.97	40.19	29.19	22.65
Resistência(kΩ)	438.07	68.86	40.86	29.35	22.61
Condutância ($kΩ^{-1}$)	2.28	14.52	24.48	34.08	44.22

Quinta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	349	136	101	87	64
2	367	141	106	84	69
3	341	152	96	84	72
4	347	141	98	89	64
5	336	136	95	80	69
6	361	136	106	83	70
7	358	141	95	87	70
8	352	143	103	80	72
9	335	140	95	83	72
10	358	135	96	84	72
11	363	135	95	83	72
12	355	135	104	89	72
13	360	133	96	78	73
14	361	147	104	78	66
15	352	138	100	80	66
16	341	141	103	78	73
17	340	138	100	78	76
18	338	138	100	78	76
19	326	147	98	83	73
20	335	140	96	78	70
21	344	143	100	87	70
22	326	132	93	87	67
23	324	135	101	81	75
24	329	130	95	78	69
25	344	136	98	84	75
26	349	147	103	76	67
27	333	144	95	84	67
28	343	144	104	78	75
29	349	138	98	76	69
30	349	133	98	76	70
31	353	133	95	83	72
Média	345.74	138.97	98.94	81.74	70.55
Resistência(kΩ)	509.75	157.02	106.95	86.75	73.99
Condutância ($kΩ^{-1}$)	1.96	6.37	9.35	11.53	13.51

Sensor 2 (Peça Retangular)

	Primeira Posição				
Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	123	66	41	27	18
2	126	66	41	26	18
3	129	64	41	24	18
4	124	63	43	27	18
5	120	63	43	24	16
6	118	63	41	26	18
7	121	64	43	24	16
8	123	61	40	26	15
9	130	61	40	24	16
10	123	66	40	26	15
11	118	61	41	24	16
12	120	66	40	26	15
13	118	63	40	26	18
14	130	63	38	26	16
15	120	60	38	27	16
16	120	61	38	24	15
17	129	64	43	24	16
18	120	61	43	26	18
19	120	60	43	26	16
20	120	61	40	24	18
21	120	63	38	24	15
22	118	63	40	24	16
23	124	61	40	24	18
24	120	63	41	26	16
25	123	61	38	24	16
26	124	61	41	24	18
27	123	60	40	24	16
28	118	63	41	24	15
29	126	63	36	27	16
30	123	61	43	26	16
31	118	61	43	24	16
Média	122.23	62.48	40.58	25.10	16.45
Resistência(kΩ)	135.54	64.98	41.26	25.12	16.33
Condutância ($kΩ^{-1}$)	7.38	15.39	24.23	39.80	61.24

Segunda Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	160	66	30	20	16
2	163	61	29	21	18
3	156	60	29	21	16
4	160	60	27	21	16
5	150	60	27	20	18
6	161	60	27	20	16
7	149	58	29	20	16
8	150	60	30	20	18
9	156	61	27	21	18
10	158	58	27	23	16
11	155	60	27	21	18
12	150	63	27	20	16
13	152	61	29	21	16
14	152	58	30	23	16
15	160	61	30	20	16
16	153	58	30	21	16
17	156	58	30	23	18
18	155	63	27	21	16
19	158	58	30	21	20
20	149	61	27	20	18
21	155	58	27	23	20
22	158	60	27	20	20
23	149	56	27	23	16
24	146	58	27	20	16
25	146	60	27	20	18
26	147	61	29	21	20
27	149	58	29	20	18
28	155	56	27	21	18
29	144	58	27	23	15
30	141	63	30	20	16
31	141	56	29	23	15
Média	152.7	59.6	28.2	21.0	17.1
Resistência(kΩ)	175.27	61.85	28.35	20.97	16.98
Condutância ($kΩ^{-1}$)	5.71	16.17	35.28	47.69	58.89

Terceira Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	175	52	29	23	21
2	144	52	29	26	20
3	156	53	30	23	18
4	148	52	32	23	21
5	159	56	32	24	20
6	145	52	29	23	21
7	166	56	30	23	20
8	154	53	30	26	21
9	125	53	32	21	18
10	145	53	30	24	18
11	178	52	32	23	18
12	136	52	29	23	20
13	169	50	30	24	21
14	168	50	32	23	20
15	124	55	32	24	20
16	145	52	30	23	20
17	185	52	30	26	20
18	155	52	29	23	20
19	166	50	30	24	18
20	185	50	29	23	20
21	142	50	29	23	20
22	138	56	29	24	18
23	164	52	30	23	20
24	154	49	30	23	20
25	139	53	29	23	20
26	142	53	29	23	21
27	138	50	29	24	20
28	157	49	30	24	20
29	143	50	27	21	20
30	178	52	32	23	20
31	174	49	30	23	20
Média	154.74	51.94	30.00	23.42	19.81
Resistência(kΩ)	178.02	53.43	30.18	23.41	19.72
Condutância ($kΩ^{-1}$)	5.62	18.72	33.13	42.72	50.70

Quarta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	140	70	35	23	16
2	140	72	33	24	16
3	153	69	33	24	18
4	149	69	35	21	20
5	138	70	36	23	20
6	149	72	33	21	18
7	141	72	33	24	18
8	138	73	35	21	16
9	147	69	32	26	16
10	147	72	33	21	16
11	138	75	32	23	16
12	138	72	33	23	16
13	140	72	32	21	20
14	138	72	32	24	16
15	147	70	33	21	20
16	141	70	35	24	16
17	141	70	36	24	16
18	138	75	35	24	16
19	140	73	32	23	16
20	143	70	35	21	18
21	140	69	35	24	18
22	147	67	35	23	16
23	141	67	35	21	20
24	138	69	33	21	18
25	141	67	33	23	16
26	143	70	32	24	18
27	140	67	32	23	18
28	149	69	35	24	18
29	152	69	35	23	20
30	152	72	33	24	18
31	138	67	33	23	16
Média	142.8	70.3	33.7	22.9	17.4
Resistência(kΩ)	162.06	73.74	34.01	22.85	17.31
Condutância ($kΩ^{-1}$)	6.17	13.56	29.41	43.77	57.79

Quinta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	150	61	47	36	30
2	150	61	47	36	30
3	158	63	46	36	29
4	163	63	46	35	32
5	160	64	46	38	30
6	150	66	47	36	32
7	155	60	47	36	29
8	150	60	47	40	32
9	164	67	47	35	30
10	150	64	49	35	29
11	150	66	50	38	29
12	155	60	46	36	30
13	152	58	47	40	30
14	155	63	46	35	29
15	150	64	47	36	29
16	149	63	49	35	29
17	160	63	46	35	29
18	153	63	46	36	30
19	149	60	49	35	32
20	161	66	46	38	32
21	149	60	47	35	33
22	160	63	47	38	30
23	156	61	47	38	33
24	150	60	46	36	32
25	149	64	46	35	33
26	160	61	50	38	33
27	149	63	49	38	30
28	149	58	47	35	29
29	153	60	49	38	30
30	152	60	46	35	29
31	158	64	49	35	33
Média	153.84	62.23	47.23	36.39	30.55
Resistência(kΩ)	176.79	64.70	48.35	36.84	30.75
Condutância ($kΩ^{-1}$)	5.66	15.46	20.68	27.14	32.52

Sensor 3 (Peça Retangular)

	Primeira Posição				
Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	172	90	55	29	23
2	170	90	55	32	23
3	173	92	53	32	24
4	173	92	55	30	24
5	169	92	55	33	23
6	172	89	58	33	21
7	178	93	55	32	24
8	169	92	53	30	23
9	183	93	56	32	21
10	167	90	53	33	23
11	173	87	53	32	24
12	180	89	55	30	23
13	172	96	55	30	23
14	167	89	55	29	21
15	180	92	55	30	23
16	180	89	60	32	24
17	170	92	60	32	23
18	166	95	53	30	21
19	183	87	56	30	21
20	170	89	52	33	21
21	170	89	56	30	23
22	170	86	55	30	21
23	180	87	53	29	21
24	166	90	56	32	23
25	167	92	56	32	23
26	173	87	53	32	24
27	164	84	52	32	21
28	169	86	52	30	21
29	172	93	55	32	23
30	176	89	55	29	23
31	173	84	52	30	24
Média	172.48	89.84	54.74	31.03	22.58
Resistência(kΩ)	202.56	96.17	56.48	31.25	22.55
Condutância ($kΩ^{-1}$)	4.94	10.40	17.71	32.00	44.35

Segunda Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	229	55	33	24	16
2	209	55	33	23	18
3	221	55	35	26	18
4	212	60	36	23	16
5	209	53	36	24	18
6	215	56	35	23	20
7	209	56	33	26	20
8	210	53	35	26	16
9	226	56	33	24	18
10	209	53	33	24	18
11	216	60	33	23	18
12	226	60	33	26	16
13	220	55	35	26	18
14	224	53	36	26	16
15	223	53	36	23	16
16	207	60	35	24	18
17	213	55	33	26	16
18	224	56	36	26	16
19	209	58	33	24	18
20	218	56	35	26	16
21	216	53	36	23	20
22	216	58	32	23	16
23	226	53	36	24	18
24	209	58	33	23	20
25	220	55	33	23	16
26	216	55	36	23	16
27	207	61	36	26	18
28	206	53	36	23	18
29	212	58	35	24	16
30	206	56	32	24	16
31	223	64	33	24	16
Média	215.68	56.19	34.35	24.29	17.29
Resistência(kΩ)	266.82	58.06	34.71	24.30	17.18
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.75	17.22	28.81	41.16	58.22

Terceira Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	206	75	36	35	27
2	200	73	40	35	24
3	207	70	36	36	24
4	201	67	38	33	26
5	190	70	38	33	24
6	213	69	35	32	27
7	192	70	36	33	24
8	192	67	40	33	26
9	198	69	36	35	24
10	198	70	38	33	26
11	196	67	38	33	24
12	196	69	36	35	26
13	190	70	38	32	26
14	190	67	40	32	26
15	201	75	38	36	26
16	184	67	38	33	27
17	195	67	41	36	26
18	192	69	40	33	26
19	181	69	36	32	26
20	187	69	38	32	26
21	193	72	38	32	24
22	186	66	35	33	24
23	184	72	35	32	26
24	193	66	36	33	27
25	178	67	36	33	24
26	195	72	40	35	26
27	190	66	36	32	24
28	184	69	36	33	26
29	178	72	36	33	26
30	176	69	35	33	26
31	183	67	36	35	26
Média	191.90	69.26	37.26	33.42	25.48
Resistência(kΩ)	230.63	72.54	37.76	33.74	25.52
Condutância ($kΩ^{-1}$)	4.34	13.79	26.48	29.64	39.18

Quarta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	252	78	50	43	33
2	260	80	50	44	33
3	261	84	53	40	33
4	261	86	49	43	33
5	266	81	52	40	33
6	263	80	52	41	35
7	243	80	49	40	33
8	243	80	49	41	36
9	246	78	53	41	33
10	261	80	49	41	35
11	241	78	49	41	33
12	252	84	49	40	33
13	253	80	50	44	35
14	255	87	49	43	36
15	240	86	50	41	35
16	260	84	50	40	32
17	260	83	50	43	35
18	256	83	53	44	36
19	243	81	52	41	33
20	253	78	49	43	33
21	246	84	52	43	32
22	240	86	50	41	33
23	236	78	52	44	33
24	238	78	55	43	33
25	238	81	49	40	32
26	236	81	53	40	32
27	243	86	52	44	32
28	243	81	49	43	35
29	249	80	50	40	33
30	235	83	47	43	32
31	238	78	52	40	32
Média	248.74	81.52	50.58	41.77	33.45
Resistência(kΩ)	320.85	86.49	51.96	42.53	33.77
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.12	11.56	19.24	23.51	29.61

Quinta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	375	293	223	176	173
2	387	284	220	161	161
3	364	290	212	172	176
4	367	286	226	170	166
5	373	273	212	163	161
6	364	273	206	163	163
7	372	286	216	173	161
8	372	290	204	164	169
9	383	283	203	178	175
10	380	276	220	164	173
11	383	273	210	163	169
12	370	281	210	164	163
13	381	290	207	173	161
14	384	275	221	167	173
15	378	286	216	176	176
16	364	276	210	163	176
17	376	278	206	160	161
18	367	284	204	161	160
19	375	269	206	167	164
20	380	278	204	160	160
21	390	273	215	160	173
22	363	267	220	166	160
23	392	269	203	169	163
24	372	269	204	163	163
25	384	286	215	166	175
26	381	275	212	173	176
27	383	273	216	170	163
28	366	281	215	175	161
29	363	281	209	166	172
30	366	281	203	160	164
31	367	281	207	170	172
Média	374.90	279.35	211.45	166.97	167.19
Resistência(kΩ)	577.58	375.15	260.23	194.82	195.14
Condutância ($kΩ^{-1}$)	1.73	2.67	3.84	5.13	5.12

Sensor 1 (Peça Circular)

	Primeira Posição				
Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	209	84	55	53	38
2	206	92	60	52	36
3	216	89	53	56	35
4	218	84	52	50	35
5	198	93	53	55	35
6	198	90	52	49	38
7	204	83	60	56	35
8	210	93	52	55	38
9	210	89	60	53	40
10	203	87	55	49	38
11	218	83	52	50	35
12	207	92	56	50	33
13	207	87	52	49	40
14	209	87	58	53	36
15	196	84	52	53	38
16	220	84	56	53	35
17	200	92	58	47	35
18	220	86	58	47	40
19	200	86	58	47	36
20	200	86	52	50	35
21	203	83	52	47	35
22	213	87	55	53	38
23	200	86	53	49	38
24	213	90	60	53	38
25	195	90	56	49	38
26	200	86	53	49	35
27	195	84	56	46	33
28	196	84	53	47	38
29	215	83	56	52	38
30	196	87	53	49	33
31	210	90	53	49	40
Média	205.97	87.13	54.97	50.65	36.61
Resistência(kΩ)	251.78	93.00	56.72	52.03	37.08
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.97	10.75	17.63	19.22	26.97

Segunda Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	569	561	510	453	424
2	598	556	498	483	452
3	564	563	513	487	418
4	584	536	480	473	450
5	576	533	524	450	420
6	576	538	492	484	426
7	587	580	503	486	453
8	587	566	493	446	452
9	616	541	483	472	426
10	561	573	476	440	412
11	583	552	476	450	410
12	586	547	513	453	443
13	570	578	520	436	421
14	601	532	478	453	435
15	613	526	484	433	436
16	609	535	504	438	432
17	583	544	500	430	407
18	578	575	476	467	412
19	560	533	472	430	424
20	558	550	506	463	449
21	564	524	472	452	446
22	570	558	470	458	409
23	563	541	476	449	410
24	558	572	506	436	449
25	556	520	472	463	418
26	569	524	469	476	407
27	569	533	480	433	423
28	555	550	467	432	406
29	606	563	470	456	424
30	556	564	506	432	426
31	555	547	475	430	430
Média	576.77	548.87	489.16	453.03	427.42
Resistência(kΩ)	1289.67	1155.20	914.60	793.45	716.45
Condutância ($kΩ^{-1}$)	0.78	0.87	1.09	1.26	1.40

Terceira Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	220	98	80	58	55
2	229	106	73	61	55
3	220	98	81	63	50
4	213	103	80	64	56
5	224	101	73	63	56
6	209	101	76	60	56
7	213	100	75	58	56
8	223	95	72	60	55
9	213	100	72	63	52
10	209	100	75	58	56
11	216	95	72	60	53
12	209	100	80	63	50
13	216	98	73	58	50
14	221	93	78	58	55
15	204	93	73	56	52
16	215	104	80	63	52
17	215	96	81	63	52
18	216	93	73	63	53
19	203	98	75	61	53
20	207	100	72	61	55
21	209	96	73	63	50
22	206	93	73	60	53
23	207	96	78	60	52
24	204	96	80	58	49
25	216	101	75	63	50
26	213	100	73	56	50
27	203	100	78	55	50
28	206	93	70	63	49
29	215	100	73	58	56
30	201	100	73	56	52
31	203	103	72	63	53
Média	212.19	98.39	75.23	60.29	52.77
Resistência(kΩ)	261.38	106.29	79.29	62.56	54.34
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.83	9.41	12.61	15.98	18.40

Quarta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	221	86	47	38	29
2	227	84	47	38	30
3	241	84	53	40	29
4	230	80	50	40	29
5	220	87	49	41	29
6	229	83	50	40	29
7	230	84	50	38	30
8	220	81	52	36	30
9	226	78	47	36	29
10	235	84	50	36	32
11	229	84	49	38	27
12	230	87	47	38	30
13	236	87	49	36	29
14	235	84	49	38	29
15	215	76	49	40	27
16	229	83	50	36	30
17	223	78	49	36	32
18	223	76	49	43	30
19	227	83	47	40	27
20	218	76	49	36	29
21	227	81	47	41	27
22	218	78	52	38	27
23	227	83	49	36	30
24	212	76	49	38	29
25	229	76	49	41	29
26	210	84	49	38	29
27	216	80	50	41	27
28	218	83	49	36	30
29	227	84	52	41	27
30	224	76	50	38	27
31	209	78	53	38	27
Média	224.55	81.42	49.39	38.39	28.87
Resistência(kΩ)	280.88	86.38	50.67	38.95	29.01
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.56	11.58	19.73	25.68	34.47

Quinta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	400	163	116	115	84
2	398	167	113	109	78
3	401	170	118	106	80
4	370	170	113	104	84
5	389	164	116	112	78
6	392	156	116	107	81
7	366	160	120	103	83
8	380	170	113	112	84
9	396	163	115	110	76
10	383	156	120	103	81
11	380	155	123	101	86
12	364	166	116	104	81
13	363	155	113	104	78
14	400	164	123	109	84
15	429	170	112	109	76
16	376	155	112	109	76
17	389	161	124	101	76
18	400	161	116	110	76
19	386	155	118	101	76
20	358	164	121	103	78
21	352	155	123	112	76
22	353	169	113	112	80
23	343	169	116	104	86
24	352	153	116	104	84
25	335	155	112	110	78
26	330	164	118	101	80
27	358	155	113	101	84
28	352	156	112	106	76
29	355	167	110	103	80
30	329	152	121	106	76
31	336	163	123	101	81
Média	371.4516	161.3871	116.6129	106.1935	79.90323
Resistência(kΩ)	569.2323	187.091	128.5151	115.7036	84.63457
Condutância ($kΩ^{-1}$)	1.756752	5.344993	7.781189	8.64277	11.8155

Sensor 2 (Peça Circular)

	Primeira Posição				
Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	192	64	41	32	24
2	192	64	36	30	21
3	187	64	36	29	23
4	184	64	35	29	24
5	184	66	41	29	21
6	181	64	36	29	21
7	190	63	36	29	24
8	181	66	36	30	21
9	195	67	38	32	21
10	198	69	38	30	21
11	190	64	38	32	23
12	207	66	36	29	23
13	196	63	41	30	21
14	201	64	40	32	21
15	200	61	40	29	23
16	193	63	38	29	23
17	203	63	41	29	23
18	187	63	38	32	21
19	190	61	36	29	23
20	190	67	36	32	23
21	198	69	36	29	23
22	190	66	40	29	21
23	203	61	36	29	21
24	186	61	36	29	23
25	198	63	38	29	24
26	196	64	38	30	21
27	192	63	38	27	23
28	190	69	35	29	23
29	184	63	35	32	21
30	183	66	40	29	23
31	193	61	40	29	23
Média	192.06	64.26	37.71	29.77	22.29
Resistência(kΩ)	230.86	66.95	38.23	29.95	22.25
Condutância ($kΩ^{-1}$)	4.33	14.94	26.15	33.39	44.94

Segunda Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	133	41	32	23	20
2	141	46	32	23	15
3	141	46	32	24	16
4	135	41	33	21	16
5	132	44	33	21	16
6	143	41	30	23	18
7	143	43	33	21	20
8	135	41	30	23	18
9	133	41	30	21	18
10	143	46	35	21	18
11	136	44	30	21	18
12	140	43	33	21	18
13	133	46	30	23	16
14	127	41	30	20	18
15	127	41	35	21	18
16	130	44	32	23	16
17	138	44	33	23	16
18	135	46	30	21	16
19	136	43	33	23	16
20	127	41	33	21	16
21	133	40	30	21	15
22	126	44	30	21	16
23	129	44	30	23	16
24	126	41	30	21	18
25	129	44	30	21	16
26	133	40	30	21	18
27	127	44	33	21	16
28	132	44	29	23	16
29	124	44	32	24	16
30	126	44	30	23	16
31	127	41	30	23	18
Média	132.90	43.00	31.39	21.94	16.90
Resistência(kΩ)	149.15	43.83	31.62	21.89	16.78
Condutância ($kΩ^{-1}$)	6.70	22.81	31.62	45.68	59.58

Terceira Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	147	67	38	33	29
2	138	58	40	33	29
3	141	61	41	33	30
4	138	66	40	38	29
5	138	66	44	36	32
6	155	63	41	35	30
7	161	63	41	33	29
8	163	60	40	36	29
9	164	58	38	35	30
10	160	58	38	36	32
11	156	64	43	35	29
12	152	63	38	38	30
13	155	60	40	33	29
14	152	63	43	35	32
15	160	58	40	33	29
16	155	60	41	36	32
17	152	58	38	33	29
18	161	56	40	33	32
19	161	60	43	36	32
20	155	63	40	35	32
21	158	60	41	35	32
22	156	64	41	35	30
23	164	58	41	38	29
24	164	58	41	33	30
25	164	56	38	33	29
26	164	61	43	36	30
27	150	63	38	36	29
28	164	63	40	33	33
29	149	56	40	38	30
30	153	60	43	35	30
31	149	56	38	38	33
Média	154.81	60.65	40.35	35.00	30.32
Resistência(kΩ)	178.10	62.95	41.03	35.39	30.52
Condutância ($kΩ^{-1}$)	5.61	15.89	24.37	28.26	32.77

Quarta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	72	32	23	16	13
2	72	33	21	18	15
3	75	32	23	20	13
4	73	30	21	16	13
5	73	35	21	16	13
6	75	33	21	16	15
7	78	32	23	16	12
8	72	32	21	18	15
9	70	32	21	16	13
10	76	33	21	18	12
11	70	35	21	18	13
12	78	35	23	18	13
13	70	32	23	18	15
14	72	35	21	21	12
15	70	32	23	20	13
16	75	32	21	18	13
17	70	30	23	20	13
18	75	32	20	18	13
19	70	35	20	20	13
20	70	33	21	18	15
21	73	30	21	20	12
22	70	35	21	21	12
23	73	33	23	18	13
24	78	35	21	21	13
25	73	35	21	16	13
26	78	32	21	18	13
27	73	35	21	18	13
28	78	32	23	18	13
29	72	33	21	20	12
30	70	32	21	20	15
31	76	32	21	18	12
Média	73.23	32.87	21.52	18.29	13.16
Resistência(kΩ)	77.02	33.17	21.46	18.19	13.02
Condutância ($kΩ^{-1}$)	12.98	30.15	46.59	54.99	76.80

Quinta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	167	70	50	47	40
2	166	75	46	46	40
3	158	76	52	50	43
4	153	70	49	46	41
5	170	72	46	50	40
6	163	73	50	50	43
7	155	73	50	49	41
8	156	75	46	47	44
9	152	69	47	47	40
10	164	70	47	46	41
11	156	78	47	50	40
12	149	69	50	46	40
13	152	73	50	49	40
14	150	67	47	46	44
15	152	75	50	50	41
16	149	72	49	47	40
17	146	72	47	49	43
18	155	73	46	49	41
19	161	75	49	50	40
20	152	73	46	46	40
21	146	70	49	46	41
22	160	72	50	50	40
23	149	72	46	46	43
24	150	69	47	47	40
25	155	69	47	49	44
26	144	75	46	46	41
27	149	75	44	46	40
28	146	70	46	46	40
29	146	69	46	46	38
30	155	75	50	49	41
31	146	75	47	46	40
Média	153.94	72.29	47.81	47.65	40.97
Resistência(kΩ)	176.92	75.96	48.97	48.80	41.67
Condutância ($kΩ^{-1}$)	5.65	13.17	20.42	20.49	24.00

Sensor 3 (Peça Circular)

	Primeira Posição				
Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	341	95	52	44	38
2	352	93	53	46	38
3	336	89	55	44	35
4	329	92	52	43	35
5	341	95	53	44	35
6	327	86	56	41	38
7	350	89	56	44	38
8	324	89	53	47	38
9	332	92	52	41	35
10	323	87	52	43	38
11	344	93	58	43	38
12	344	90	52	44	36
13	323	87	50	41	38
14	344	84	52	43	35
15	323	90	55	46	36
16	315	92	52	43	35
17	313	84	56	43	35
18	316	93	52	46	38
19	312	98	52	44	35
20	329	89	56	41	35
21	309	100	55	44	35
22	312	95	53	44	36
23	306	95	55	43	35
24	312	96	56	43	36
25	315	89	55	44	36
26	329	89	52	43	38
27	324	89	50	44	38
28	306	100	56	44	35
29	310	95	56	44	35
30	303	96	53	41	36
31	323	90	53	40	36
Média	324.74	91.65	53.65	43.39	36.29
Resistência(kΩ)	464.41	98.29	55.28	44.24	36.74
Condutância ($kΩ^{-1}$)	2.15	10.17	18.09	22.60	27.22

Segunda Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	127	64	43	27	21
2	135	69	40	29	26
3	133	70	40	30	21
4	134	69	38	29	24
5	128	66	38	32	26
6	127	69	41	29	23
7	129	66	40	32	24
8	134	66	38	30	26
9	132	64	38	27	23
10	121	64	38	29	26
11	118	72	36	29	26
12	124	64	41	27	26
13	118	67	40	27	23
14	142	70	41	30	23
15	162	66	38	27	26
16	123	64	43	30	24
17	142	64	43	27	23
18	134	69	38	29	23
19	133	70	40	27	24
20	142	64	41	27	24
21	145	69	40	32	21
22	152	64	36	30	24
23	136	69	41	32	24
24	147	70	43	29	23
25	129	66	41	27	24
26	112	66	36	32	24
27	109	64	40	27	23
28	134	64	41	29	23
29	147	67	40	29	21
30	132	64	36	30	21
31	137	66	36	27	21
Média	132.84	66.65	39.52	28.97	23.58
Resistência(kΩ)	149.06	69.61	40.14	29.11	23.57
Condutância ($kΩ^{-1}$)	6.71	14.36	24.91	34.35	42.43

Terceira Posição

Tempo(s)\Força(N)	2,55 N	7.55	12.55	17.55	22.55
1	129	55	52	29	24
2	123	52	52	27	21
3	132	53	53	29	21
4	135	52	52	26	21
5	136	52	52	26	23
6	123	53	55	29	21
7	126	56	53	29	23
8	129	55	56	26	23
9	121	50	55	26	21
10	129	52	52	30	23
11	126	50	53	26	23
12	129	56	53	27	20
13	123	50	50	27	23
14	129	52	52	27	21
15	123	50	55	29	21
16	129	52	52	29	20
17	126	53	53	27	21
18	133	50	52	29	23
19	120	52	52	27	21
20	120	53	55	29	21
21	126	56	56	32	20
22	124	49	52	29	20
23	129	50	56	29	21
24	123	55	52	30	20
25	133	52	56	27	21
26	130	49	52	27	21
27	130	56	56	30	20
28	123	53	55	27	20
29	120	50	50	30	21
30	120	49	52	27	20
31	121	53	56	27	18
Média	126.45	54.68	45.13	28.03	21.19
Resistência(kΩ)	140.89	56.41	46.10	28.15	21.13
Condutância ($kΩ^{-1}$)	7.10	17.73	21.69	35.53	47.32

Quarta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	270	115	75	60	47
2	278	104	73	63	50
3	287	115	73	58	53
4	267	112	69	60	52
5	267	113	73	56	47
6	266	104	73	60	49
7	281	104	75	58	50
8	264	104	67	58	49
9	266	104	67	61	50
10	266	104	69	56	47
11	286	104	69	56	53
12	289	112	67	61	50
13	276	109	69	60	49
14	263	109	73	58	50
15	272	104	69	63	47
16	278	103	69	63	47
17	270	115	73	60	50
18	276	110	67	63	46
19	261	106	67	63	52
20	270	115	69	56	49
21	270	110	73	63	50
22	272	110	69	63	50
23	286	103	73	63	50
24	276	110	67	63	50
25	278	107	66	64	49
26	269	106	73	64	49
27	286	103	75	64	47
28	263	106	69	63	49
29	278	112	67	58	50
30	273	104	69	64	50
31	263	109	66	63	47
Média	273.13	107.94	70.10	60.81	49.29
Resistência(kΩ)	363.75	117.83	73.48	63.13	50.57
Condutância ($kΩ^{-1}$)	2.75	8.49	13.61	15.84	19.77

Quinta Posição

Tempo(s)\Força(N)	2.55	7.55	12.55	17.55	22.55
1	252	103	69	49	40
2	235	98	70	50	43
3	243	100	69	46	43
4	247	107	66	44	41
5	252	101	64	50	40
6	246	107	66	47	40
7	236	96	69	46	40
8	229	96	67	46	40
9	230	98	64	47	40
10	232	96	66	49	40
11	240	95	70	49	41
12	229	104	63	46	40
13	244	96	64	46	44
14	233	104	67	46	40
15	246	95	66	49	43
16	229	98	63	50	41
17	230	95	69	49	40
18	224	95	67	47	40
19	226	101	61	44	40
20	226	95	63	44	40
21	224	93	64	50	38
22	224	95	61	44	40
23	226	101	63	49	41
24	227	96	63	49	40
25	227	101	67	47	43
26	236	95	64	47	38
27	221	95	63	46	43
28	230	101	69	49	40
29	240	98	63	47	40
30	232	100	69	46	40
31	230	96	67	46	41
Média	233.74	98.42	65.68	47.23	40.65
Resistência(kΩ)	295.78	106.33	68.53	48.35	41.33
Condutância ($kΩ^{-1}$)	3.38	9.40	14.59	20.68	24.19

6.4. Analise de 6 Sensores de Alças com Variação de Peso de Carga

Sensores de Alças- (0 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	1029	1015	1032	184	146	212
2	983	1030	1061	186	164	216
3	960	995	1066	190	161	212
4	976	1049	976	223	183	223
5	950	983	1067	243	169	276
6	1030	1032	987	255	192	227
7	980	1049	1047	247	190	241
8	955	1060	975	236	232	180
9	972	950	963	324	255	195
10	1012	964	1004	290	193	244
11	990	1012	1043	250	160	218
12	952	981	970	301	166	235
13	950	1055	1040	320	163	230
14	1055	966	1041	327	166	244
15	995	1053	1067	336	173	227
16	987	1064	998	263	192	236
17	955	952	1052	215	178	227
18	1035	1040	950	204	175	210
19	1061	952	1036	210	172	193
20	1021	961	976	196	172	212
21	1012	1006	961	226	172	210
22	990	1001	978	204	158	203
23	1049	952	953	221	170	200
24	955	996	1010	221	147	183
25	984	949	961	195	147	193
26	949	1044	949	200	146	193
27	1073	987	1047	196	161	189
28	950	1040	1021	201	149	184
29	978	993	1067	201	150	206
30	975	1000	978	198	146	189
31	980	958	966	213	146	192
32	1003	1073	976	207	147	181
33	972	1027	1064	192	141	186
34	998	955	970	212	138	180
35	1020	987	1066	207	141	180
36	1020	1069	1053	216	152	193
37	963	1007	947	244	153	178
38	978	1009	1067	301	164	160
39	952	993	967	212	235	152
40	1035	989	1040	264	201	296
41	1058	961	972	278	250	178
42	1070	963	952	316	241	236
43	1024	1050	952	258	218	210

44	961	983	1049	250	192	175
45	1001	1050	1044	226	200	155
46	960	949	1052	229	178	161
47	1052	949	963	236	161	163
48	972	1001	949	200	161	161
49	1000	986	963	195	149	156
50	1056	1072	1043	200	136	156
51	1047	973	993	187	155	149
52	953	987	1044	209	147	144
53	1052	972	1058	206	163	144
54	1069	960	949	180	140	143
55	961	1009	1046	183	152	135
56	1041	958	998	173	144	136
57	1006	1073	969	195	150	133
58	955	990	980	189	155	140
59	1032	1063	976	184	149	136
60	1050	1007	1049	189	184	172
61	1000	961	956	212	172	166
62	969	972	1041	229	198	213
63	950	1055	1044	272	220	158
64	1010	986	1012	226	230	236
65	1000	949	949	215	216	203
66	1063	949	1046	267	267	146
67	1047	1018	958	235	196	140
68	1040	952	1016	246	218	227
69	1024	1013	955	280	195	200
70	958	981	1003	276	183	167
71	1069	1052	1006	258	184	158
72	1009	996	993	243	163	156
73	952	975	1000	235	176	166
74	975	1061	970	236	183	152
75	950	1052	955	244	189	176
76	1047	996	1012	232	181	161
77	963	950	949	229	198	150
78	1056	1010	950	215	196	160
79	984	961	953	236	190	144
80	1006	1001	1004	215	190	164
81	1073	949	1030	220	184	163
Média	1001.84	999.91	1002.41	230.06	176.79	186.36

Sensores de Alças (2 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	1061	960	1033	95	132	90
2	956	993	947	92	140	96
3	1016	1035	1040	104	150	93
4	963	947	1013	98	143	96
5	947	1029	969	87	147	101
6	1056	986	1009	90	138	87
7	963	950	956	92	135	87
8	973	1010	992	90	146	96
9	1020	1021	1053	89	133	92
10	1064	1020	1072	89	130	92
11	976	947	1026	89	140	101
12	1058	973	1004	95	133	90
13	947	973	961	87	135	92
14	970	947	1029	106	160	120
15	958	1000	1064	153	183	149
16	956	1064	949	192	192	124
17	1015	993	947	206	223	147
18	949	958	947	156	172	121
19	1023	998	1021	138	183	116
20	958	1041	952	127	166	123
21	949	1018	983	132	150	112
22	953	955	1072	160	152	109
23	993	1021	1015	147	175	106
24	1032	1030	986	133	156	104
25	1050	1072	949	126	146	113
26	1029	1000	970	120	143	112
27	947	967	1000	130	161	112
28	996	972	990	129	209	132
29	1060	1058	992	150	181	130
30	950	1061	1036	109	207	136
31	1073	972	958	110	158	120
32	1021	949	960	100	167	118
33	953	967	1021	101	175	123
34	947	993	947	107	172	113
35	1064	963	969	100	160	110
36	947	1040	1043	92	169	106
37	947	1030	1064	96	167	109
38	966	1066	949	95	155	110
39	1067	1030	1058	101	147	106
40	1035	1021	947	92	149	104
41	963	1009	947	92	156	106

42	1047	1044	947	96	141	107
43	975	1053	947	89	141	101
44	1006	955	990	92	146	98
45	946	1049	1049	89	147	104
46	963	1063	952	86	140	98
47	1053	1063	987	107	152	100
48	949	1066	1033	93	163	107
49	964	946	1021	84	149	100
50	958	1073	1027	127	141	120
51	1060	1040	955	113	166	101
52	952	981	967	104	141	101
53	1035	1036	1046	213	160	247
54	964	1069	1029	218	155	190
55	1000	949	983	147	121	156
56	966	998	975	155	123	150
57	955	969	1047	140	160	120
58	961	947	978	118	169	116
59	958	1013	961	104	166	106
60	1027	1070	976	103	173	113
61	958	1072	980	103	173	109
62	1072	983	1072	90	158	106
63	1061	1044	1064	90	160	98
64	972	963	1029	92	167	100
65	949	1049	995	92	164	104
66	952	1038	1024	87	152	107
67	967	1009	1036	84	149	106
68	949	986	947	93	152	107
69	946	1004	1058	87	141	106
70	953	996	1023	87	143	100
71	1066	1069	995	87	163	96
72	1060	1027	1004	78	152	93
73	964	1043	947	76	143	100
74	973	1050	1043	78	138	101
75	964	947	949	78	146	96
76	949	1044	998	84	143	93
77	949	1060	973	75	136	98
78	955	1033	947	81	135	98
79	983	1020	1035	73	133	89
80	947	981	1023	86	136	95
81	947	995	1018	73	135	90
Média	988.22	1010.32	998.40	108.012	154.43	110.26

Sensores de Alças (3 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	984	960	1043	75	120	90
2	950	1072	956	70	106	90
3	984	1067	996	69	110	87
4	1024	1020	1009	73	118	92
5	1009	967	1035	75	116	84
6	976	1044	972	76	103	87
7	992	1021	953	72	113	83
8	976	998	1060	72	107	78
9	961	953	963	73	98	80
10	960	1003	952	75	104	83
11	1044	949	1055	67	103	78
12	949	1000	1010	70	98	86
13	952	1050	958	72	104	81
14	947	1038	1069	66	98	81
15	976	995	950	66	98	75
16	958	996	961	73	100	76
17	983	996	1069	67	106	75
18	947	1012	969	64	98	75
19	1000	952	978	66	104	80
20	949	947	1009	67	100	75
21	947	955	978	70	110	72
22	947	1015	949	63	103	76
23	952	1058	946	69	101	84
24	986	955	950	69	107	72
25	966	947	947	80	112	98
26	978	1063	1027	78	120	89
27	949	1040	949	64	112	78
28	990	1032	1050	76	120	90
29	1009	949	986	409	83	180
30	1024	1013	998	107	143	93
31	947	1020	1041	147	133	96
32	1018	1036	958	103	123	98
33	1053	1075	1023	90	147	110
34	1038	1043	967	87	136	106
35	975	969	955	81	141	101
36	952	955	1001	73	136	95
37	975	1044	947	73	121	96
38	1013	1001	1044	76	124	101
39	950	1021	953	83	120	104
40	1023	1056	970	69	124	95
41	972	983	973	69	132	89

42	1038	990	1035	67	126	93
43	1010	1016	1056	72	118	96
44	966	949	1004	72	113	90
45	1029	969	953	73	118	101
46	953	992	1060	73	138	90
47	1044	973	976	63	140	95
48	1046	1027	949	70	141	92
49	960	1055	976	76	130	87
50	964	961	1063	72	121	87
51	980	981	950	63	126	96
52	1066	1012	955	64	124	93
53	969	970	975	66	126	86
54	970	1009	1072	70	115	95
55	1013	950	1020	69	115	84
56	952	1007	1066	63	120	93
57	969	1013	952	63	110	80
58	1053	1044	1021	67	120	81
59	963	961	953	61	110	81
60	976	952	1010	60	113	81
61	973	987	949	56	109	86
62	1073	956	989	58	112	80
63	960	976	1073	63	109	81
64	947	1061	987	61	109	78
65	947	967	963	55	106	75
66	955	947	956	64	107	75
67	950	952	947	55	113	78
68	953	1033	970	60	121	84
69	1046	1038	1066	67	109	86
70	955	1030	1033	70	121	86
71	1073	963	1047	60	118	86
72	953	989	987	73	132	93
73	1052	1075	1003	75	118	90
74	986	1033	958	70	123	80
75	947	1029	1072	78	118	81
76	1041	1073	949	75	130	90
77	1066	1070	1006	72	120	89
78	1006	1067	990	72	112	89
79	978	1003	1069	66	110	80
80	960	1024	975	69	106	76
81	1018	981	949	67	112	75
Média	986.98	1004.38	994.60	75.48	115.93	87.63

Sensores de Alças (4 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	1072	1020	960	120	107	78
2	1066	950	1069	175	126	66
3	980	952	1010	233	240	289
4	1001	1018	972	184	124	75
5	972	1015	1073	216	118	66
6	1064	1021	981	243	84	47
7	952	969	1063	267	84	58
8	986	970	949	184	84	49
9	986	956	947	267	95	46
10	998	1003	1067	193	81	40
11	987	1003	967	333	93	44
12	958	1024	992	286	78	40
13	987	1067	1047	223	69	41
14	956	1007	947	112	96	44
15	1066	1050	996	96	58	29
16	1026	1032	1036	512	220	66
17	960	1012	975	256	121	56
18	1056	1010	998	503	110	61
19	992	984	1006	204	78	49
20	1026	967	947	113	81	69
21	961	1073	956	110	80	78
22	953	986	963	78	75	64
23	950	947	1040	80	76	69
24	947	1009	1055	72	73	61
25	984	1049	1021	63	75	60
26	996	1058	960	66	72	52
27	947	949	1066	63	78	52
28	966	964	1032	64	64	55
29	1030	1041	1013	60	63	53
30	947	1000	1010	61	72	55
31	1047	1033	967	72	90	52
32	947	1026	949	69	83	61
33	967	947	1020	66	81	58
34	1067	1063	966	60	78	60
35	998	952	1064	67	75	52
36	967	1000	973	63	69	53
37	1021	1010	1000	61	70	52
38	1072	947	1021	61	73	55
39	986	952	1001	56	67	52
40	953	1032	1027	66	63	49
41	990	964	1070	66	72	53

42	950	1015	1061	67	67	55
43	1035	1026	947	60	60	55
44	947	955	1021	64	64	55
45	1004	1035	964	63	70	53
46	1040	1029	1018	52	64	47
47	947	1004	1009	56	60	47
48	1073	963	1064	53	61	49
49	1027	1058	958	52	64	47
50	1010	969	944	53	60	46
51	1001	1023	947	66	64	47
52	950	975	1072	61	64	49
53	949	1073	1027	64	64	49
54	998	1064	1050	60	69	52
55	1023	1060	1029	60	67	44
56	967	975	950	55	63	49
57	953	987	1010	58	67	49
58	1020	987	1013	55	56	44
59	986	993	983	58	58	49
60	1006	1020	1066	53	58	52
61	1010	952	1001	56	55	47
62	1069	972	1027	47	63	43
63	1016	1073	1038	49	63	46
64	1004	950	1060	47	61	40
65	963	1070	953	50	64	52
66	953	947	1032	55	64	43
67	1000	946	970	50	55	40
68	950	953	987	66	60	41
69	947	1046	1060	53	55	40
70	1004	1029	1063	47	58	43
71	1049	1073	1023	52	55	46
72	952	1064	947	53	55	41
73	964	950	967	49	55	41
74	1064	976	1070	46	58	46
75	1006	961	996	50	66	46
76	953	1032	1000	53	66	41
77	1072	1041	981	53	64	40
78	984	946	1049	53	61	38
79	970	981	981	55	60	38
80	1073	1012	1047	53	56	43
81	1004	955	967	52	61	43
Média	996.05	1002.12	1006.52	103	75.94	53.64

Sensores de Alças (5 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	983	998	961	47	66	53
2	1050	949	1024	47	75	58
3	1018	969	946	43	86	64
4	944	960	1032	41	84	63
5	1061	970	947	40	84	61
6	950	1030	1009	46	126	95
7	1015	1029	947	70	124	110
8	1061	996	1063	87	123	92
9	969	1032	953	70	118	93
10	1066	958	1056	64	121	83
11	1027	1056	1038	76	110	93
12	996	964	963	78	123	115
13	1020	958	1073	63	107	83
14	966	1035	1043	58	100	73
15	998	955	984	52	93	72
16	1067	1015	956	47	92	70
17	1000	955	1070	52	89	73
18	946	946	1047	50	101	69
19	947	1072	949	53	95	69
20	1066	1046	1015	63	95	64
21	1029	947	1044	61	95	70
22	998	1032	1024	52	92	69
23	1060	987	964	47	81	67
24	963	952	1010	41	80	66
25	950	958	1056	50	90	60
26	1023	1003	1035	58	98	76
27	1009	989	947	78	92	83
28	953	970	949	67	87	76
29	1073	1069	946	64	100	76
30	949	1053	993	49	84	61
31	1013	1061	976	44	92	64
32	1029	1060	966	46	86	63
33	1001	1027	1069	44	73	60
34	992	1061	1055	41	78	58
35	1007	995	980	44	75	63
36	1024	1072	975	44	83	60
37	946	993	961	46	93	66
38	1024	992	993	40	80	56
39	1060	946	975	38	87	61
40	1043	1043	947	40	84	58
41	1055	1072	1015	40	78	56

42	1044	1053	947	49	84	60
43	1016	1007	952	49	90	63
44	1012	984	949	55	81	64
45	949	949	992	50	80	56
46	1049	1073	953	47	80	58
47	1038	1001	990	40	78	56
48	1067	1069	1070	38	73	55
49	955	1066	975	38	78	61
50	964	1021	1020	38	72	60
51	949	1040	1041	43	76	64
52	956	1053	949	104	52	50
53	1032	946	992	78	36	63
54	960	1015	1004	46	43	55
55	1021	1070	1007	50	38	67
56	964	947	1069	66	43	63
57	952	1000	1036	49	41	61
58	1046	963	1053	110	47	61
59	1009	953	1060	73	30	58
60	976	949	1069	140	100	64
61	1032	989	949	66	113	72
62	996	996	976	55	124	64
63	1047	1030	993	50	112	64
64	1023	955	947	241	63	87
65	964	946	947	80	107	87
66	1024	1007	1006	56	93	76
67	1007	1053	1073	61	93	75
68	976	981	950	52	87	69
69	966	947	949	55	80	66
70	1029	949	949	53	80	66
71	966	1063	1027	58	84	66
72	949	952	946	53	86	66
73	947	1043	973	50	80	67
74	983	969	953	55	107	70
75	1041	1067	1043	52	112	67
76	946	952	1053	52	107	69
77	1032	1016	946	49	106	67
78	947	1029	1007	52	96	60
79	1053	1033	1015	49	95	58
80	1060	970	1041	46	96	70
81	1056	981	1058	63	92	61
Média	1004.37	1003.24	998.58	57.93	87.10	68

Sensores de Alças (6 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	960	1032	953	93	53	49
2	1013	947	947	92	53	52
3	1063	1069	1069	96	49	50
4	983	1063	1066	87	52	53
5	949	950	1020	89	47	49
6	967	967	1030	87	52	47
7	990	989	1053	95	50	52
8	949	981	1072	84	53	47
9	1021	967	1013	87	52	47
10	1052	1010	1052	83	44	50
11	1003	993	953	83	46	47
12	1000	1072	1036	98	52	52
13	1072	966	1009	96	46	50
14	966	1038	944	100	50	47
15	1010	952	947	90	49	52
16	990	966	950	95	47	52
17	961	960	1044	98	49	47
18	953	992	963	98	44	50
19	1004	952	983	93	44	49
20	960	984	967	123	49	61
21	1000	1026	1018	121	69	58
22	1016	1072	973	115	64	58
23	976	1032	1064	147	63	66
24	989	949	947	124	58	63
25	1072	966	1029	138	53	50
26	950	1015	1053	113	55	47
27	1056	949	987	96	53	47
28	1043	953	1053	89	50	52
29	1041	983	956	120	53	50
30	1072	1063	984	100	46	43
31	983	970	1016	87	46	44
32	955	1007	969	93	47	52
33	970	967	956	81	47	46
34	960	969	976	103	52	53
35	1026	992	972	106	44	52
36	952	946	973	89	53	47
37	1047	947	1067	89	49	46
38	960	950	1073	95	43	47
39	949	1038	978	87	46	47
40	958	1044	1027	81	44	49
41	947	944	949	84	46	49

42	987	1024	946	87	47	46
43	956	1021	1061	101	49	46
44	998	990	966	89	49	43
45	1015	966	949	81	52	43
46	1000	1029	960	90	49	49
47	1018	1020	953	81	43	49
48	1020	992	987	84	47	46
49	1073	946	996	83	43	44
50	970	996	1053	76	40	43
51	1070	1016	989	83	43	44
52	970	969	1000	84	40	47
53	949	975	964	72	44	41
54	964	1001	987	69	47	41
55	963	958	952	72	41	47
56	1029	955	963	75	43	41
57	947	963	992	89	44	52
58	978	946	992	87	52	47
59	958	952	960	76	44	44
60	975	1038	1041	73	47	46
61	952	947	947	89	41	47
62	987	1047	949	83	41	44
63	952	973	1050	75	44	44
64	1055	950	1033	78	46	46
65	1027	1018	950	89	44	50
66	1000	1021	1030	83	43	49
67	1003	1013	1023	92	44	46
68	1021	1044	946	80	46	47
69	1032	987	987	87	44	44
70	1006	993	1010	87	41	44
71	956	1004	1072	81	49	50
72	975	1044	1012	78	46	49
73	1012	980	1001	87	47	49
74	958	1053	1073	86	40	43
75	1072	989	949	86	43	43
76	961	963	947	84	43	43
77	956	978	955	81	41	43
78	992	984	947	76	43	46
79	1056	1044	950	86	41	43
80	1063	990	996	75	49	44
81	949	946	950	81	49	43
Média	995.22	992.06	994.80	90.38	47.54	47.96

Sensores de Alças (7 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	1033	1003	947	75	52	52
2	953	958	990	70	52	41
3	1049	1021	987	58	50	36
4	1063	993	955	49	47	38
5	963	1016	1030	52	44	40
6	1009	952	993	50	44	33
7	950	1044	1036	52	41	35
8	1047	1010	981	50	49	32
9	1010	947	947	50	44	33
10	967	949	1027	43	47	32
11	1023	1070	949	43	40	33
12	947	1075	1001	41	40	32
13	958	950	983	38	43	32
14	1010	960	1035	41	38	32
15	1010	1072	1044	38	38	30
16	1041	1053	967	38	36	30
17	1006	1067	947	40	36	30
18	963	949	1021	40	35	30
19	1003	950	950	43	40	33
20	992	955	1052	35	35	30
21	1044	984	1049	35	41	30
22	1040	1036	990	36	38	30
23	1027	1001	963	40	36	32
24	1055	1070	947	40	41	29
25	947	981	963	36	40	29
26	1012	956	984	33	36	29
27	1020	981	1075	35	36	32
28	970	1001	1020	46	44	32
29	947	1020	1066	38	49	30
30	984	1056	1033	43	43	33
31	1020	996	949	46	41	36
32	986	998	947	44	44	35
33	1023	993	1030	44	38	30
34	956	1043	1006	35	43	29
35	992	1040	996	40	36	30
36	1072	1029	1052	38	40	29
37	1066	990	973	35	36	32
38	950	1000	1032	35	38	29
39	1030	973	1069	36	36	33
40	967	1000	1027	33	35	30
41	972	989	949	33	40	33

42	950	1052	1018	35	40	29
43	947	949	958	44	44	32
44	1024	955	966	130	43	47
45	956	992	1029	46	55	40
46	984	1073	1061	49	52	36
47	947	1004	1000	55	46	38
48	1066	1000	995	81	41	30
49	956	1016	1003	69	46	35
50	952	950	973	61	43	36
51	961	1015	983	55	40	33
52	955	947	955	66	47	41
53	1058	975	947	63	49	36
54	947	1001	1012	61	52	32
55	947	1004	1055	58	49	46
56	966	989	1000	58	52	36
57	949	949	976	46	44	36
58	1003	1012	996	49	44	33
59	1032	1036	986	43	47	38
60	1047	996	947	44	50	40
61	1010	949	1032	72	52	38
62	953	973	970	47	49	33
63	987	949	972	44	40	38
64	949	1003	946	63	47	35
65	952	955	1063	49	43	36
66	1020	967	1032	53	47	36
67	1047	972	952	53	46	40
68	947	1060	950	50	47	38
69	953	1018	1000	44	41	35
70	960	949	1044	47	43	33
71	1067	989	1073	49	46	38
72	987	950	1066	46	41	35
73	950	967	1012	49	43	33
74	1010	975	1040	47	41	36
75	1067	947	1027	46	41	36
76	1043	947	973	41	38	36
77	978	1020	1047	44	38	32
78	972	950	1006	41	38	36
79	967	950	947	41	36	35
80	1061	1070	949	40	38	33
81	1000	1026	1023	41	41	32
Média	995.11	995.46	999.33	47.74	42.74	34.25

Sensores de Alças (8 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	1069	949	995	58	58	35
2	1056	978	1021	43	53	36
3	1012	1070	949	75	61	41
4	1032	956	1016	46	64	46
5	1056	1035	947	52	60	41
6	1073	952	993	53	58	38
7	950	1024	952	49	49	36
8	1072	952	952	43	53	38
9	1063	955	958	50	55	41
10	955	998	1043	58	64	46
11	1069	950	998	60	52	38
12	949	1020	995	52	47	40
13	1044	969	966	44	50	38
14	993	1027	967	41	47	38
15	1007	1033	992	43	50	36
16	949	1072	953	49	47	35
17	950	947	952	44	46	35
18	992	1015	1041	44	52	36
19	964	952	1036	43	47	35
20	1041	1058	1041	49	49	38
21	1060	966	961	86	55	33
22	1063	1010	950	152	56	29
23	952	1075	1004	89	53	35
24	958	950	1032	40	52	35
25	1001	1066	1021	44	46	41
26	1000	1056	972	44	49	38
27	1013	1046	1067	61	44	33
28	1075	995	1041	52	46	33
29	953	949	1003	55	47	40
30	983	1027	950	49	43	38
31	949	1029	992	49	49	41
32	1056	949	953	41	50	36
33	970	963	1033	41	43	35
34	976	980	1035	43	43	41
35	952	1023	1075	210	155	92
36	1070	1009	949	161	50	67
37	969	960	1035	101	49	50
38	1075	1038	980	86	52	50
39	955	1021	1058	75	47	44
40	1063	1067	967	63	50	43
41	1004	975	950	69	47	43

42	953	950	1064	61	52	47
43	964	1075	983	60	44	49
44	980	1052	1069	64	58	43
45	1073	963	1061	61	47	43
46	964	987	949	56	52	41
47	952	961	1015	60	47	43
48	1073	995	1067	53	43	43
49	961	1035	1050	60	43	44
50	970	1041	1004	58	46	43
51	1032	949	1073	52	43	40
52	1009	996	1035	58	55	55
53	967	1026	980	84	47	46
54	960	964	952	66	41	43
55	1049	1026	1052	66	46	41
56	963	1001	1013	103	55	55
57	1036	949	1049	72	53	44
58	980	1058	955	70	53	38
59	1001	1052	1012	58	47	41
60	950	953	1036	60	47	36
61	992	1027	1075	63	49	35
62	1046	1043	1038	66	46	40
63	1032	967	950	63	46	40
64	1027	992	955	52	46	32
65	958	950	981	53	49	35
66	1043	947	972	58	49	36
67	993	1047	1015	55	44	36
68	952	1030	1012	53	47	35
69	953	952	1026	70	50	36
70	947	1073	1060	75	46	35
71	1047	963	1026	67	49	33
72	970	975	970	64	43	36
73	963	1046	1072	53	41	40
74	958	1021	1056	55	38	41
75	1075	1015	963	58	44	33
76	984	1061	947	49	40	40
77	1063	1003	1038	55	49	36
78	978	1043	995	47	46	35
79	956	1027	1021	50	43	36
80	956	1021	1010	52	36	36
81	981	984	953	53	36	30
Média	1001.28	1003.53	1004.31	62.22	49.93	40.19

Sensores de Alças (9 Kg)

Tempo(s)	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6
1	998	949	1023	69	46	32
2	975	1061	1015	55	46	32
3	950	943	1053	41	60	40
4	967	1029	1018	30	56	40
5	1036	1064	1069	35	55	35
6	947	961	952	32	58	36
7	952	1070	1006	30	53	35
8	947	984	944	30	52	36
9	1021	952	1009	29	52	36
10	1053	1035	943	29	50	32
11	986	1069	955	30	47	32
12	943	1070	978	30	53	36
13	949	1030	943	26	50	33
14	966	1040	947	40	44	35
15	996	998	1013	36	43	29
16	941	1063	1066	44	44	41
17	1032	963	1070	310	49	41
18	946	949	958	287	46	35
19	986	1044	1012	266	43	36
20	1069	992	1026	253	41	32
21	963	983	944	240	44	40
22	967	1050	963	69	50	43
23	972	947	981	35	60	35
24	961	990	981	33	60	35
25	944	944	969	23	58	35
26	1000	950	969	29	52	32
27	946	1009	973	27	46	33
28	1027	970	1016	24	47	32
29	1021	973	1023	21	49	33
30	1035	1035	944	24	47	33
31	1038	993	970	26	44	33
32	961	1043	947	21	52	36
33	961	950	1056	21	49	30
34	1047	992	946	20	44	30
35	1063	1069	967	20	46	32
36	1012	956	953	18	41	32
37	980	960	986	20	41	27
38	1023	1001	944	20	44	30
39	947	975	1044	26	44	33
40	989	1070	953	27	46	33
41	989	944	1041	24	49	29

42	1029	1041	969	24	49	30
43	969	1067	958	23	41	29
44	973	1061	976	84	66	64
45	944	947	972	32	55	33
46	953	950	1070	30	50	36
47	1016	986	1056	29	47	33
48	987	1000	1003	30	55	38
49	973	1010	956	32	46	33
50	950	1060	950	27	47	35
51	1000	1044	949	33	52	33
52	955	1035	995	47	43	30
53	1003	970	1050	52	46	35
54	1003	1036	947	44	38	33
55	987	1023	1064	53	40	35
56	992	956	946	33	38	32
57	949	984	944	36	40	30
58	943	1066	969	27	40	35
59	943	1043	956	27	38	32
60	952	944	1050	30	35	32
61	983	944	1066	35	33	29
62	1009	1000	1046	33	38	36
63	944	1015	973	27	43	30
64	944	993	1018	29	44	30
65	1000	949	964	24	49	32
66	964	976	943	26	44	29
67	1020	992	973	21	41	33
68	1055	943	1041	21	41	29
69	1063	984	1035	20	38	29
70	989	943	996	23	46	30
71	958	1041	1069	23	43	27
72	1038	1069	990	21	41	30
73	976	972	946	27	44	27
74	1020	963	1023	23	41	27
75	950	1029	967	24	43	29
76	975	955	1038	21	43	30
77	950	946	947	20	38	29
78	1032	1024	1018	21	41	29
79	1021	1069	1052	21	38	26
80	943	1020	944	24	40	27
81	1041	996	966	24	40	27
Média	986.44	1001.43	992.16	45.32	46.12	33

6.5. Tratamento de dados da alça com sensores piezoresistivos

Carga (kg)	*Valores de resistência (kΩ)*					
0	45208,36	41513,58	46423,67	289,77	208,67	222,48
1	25563,58	133945,74	38236,66	109,12	174,21	121,36
2	32736,43	54794,87	36090,91	74,50	134,12	94,98
3	38683,89	44098,45	63157,25	58,92	66,93	48,86
4	49851,02	63078,53	36761,39	60,47	86,19	66,38
5	29865,25	29274,78	28339,33	89,52	46,20	47,08
6	30403,49	30234,45	42160,33	51,10	44,12	35,37
7	34430,12	51751,52	80219,28	69,02	50,09	42,58
8	27726,07	41631,84	31197,29	28,44	44,71	31,97

Carga (kg)	*Valores da resistência após subtracção (kΩ)*					
2	-19644,78	92432,15	-8187,01	-180,65	-34,47	-101,12
3	-12471,92	13281,29	-10332,76	-215,27	-74,55	-127,50
4	-6524,47	2584,86	16733,58	-230,85	-141,75	-173,62
5	4642,67	21564,94	-9662,28	-229,30	-122,48	-156,10
6	-15343,11	-12238,80	-18084,34	-200,25	-162,48	-175,40
7	-14804,87	-11279,13	-4263,34	-238,67	-164,55	-187,11
8	-10778,23	10237,93	33795,61	-220,75	-158,59	-179,90
9	-17482,28	118,25	-15226,38	-261,34	-163,96	-190,51

Carga (kg)	*Valores das condutâncias (kΩ-1)*					
2	-0,05	0,01	-0,12	-5,54	-29,01	-9,89
3	-0,08	0,08	-0,10	-4,65	-13,41	-7,84
4	-0,15	0,39	0,06	-4,33	-7,05	-5,76
5	0,22	0,05	-0,10	-4,36	-8,16	-6,41
6	-0,07	-0,08	-0,06	-4,99	-6,15	-5,70
7	-0,07	-0,09	-0,23	-4,19	-6,08	-5,34
8	-0,09	0,10	0,03	-4,53	-6,31	-5,56
9	-0,06	8,46	-0,07	-3,83	-6,10	-5,25

6.6. Valores do teste funcional

6.6.1. Utilizadora- 10 anos- Teste com o conjunto alças

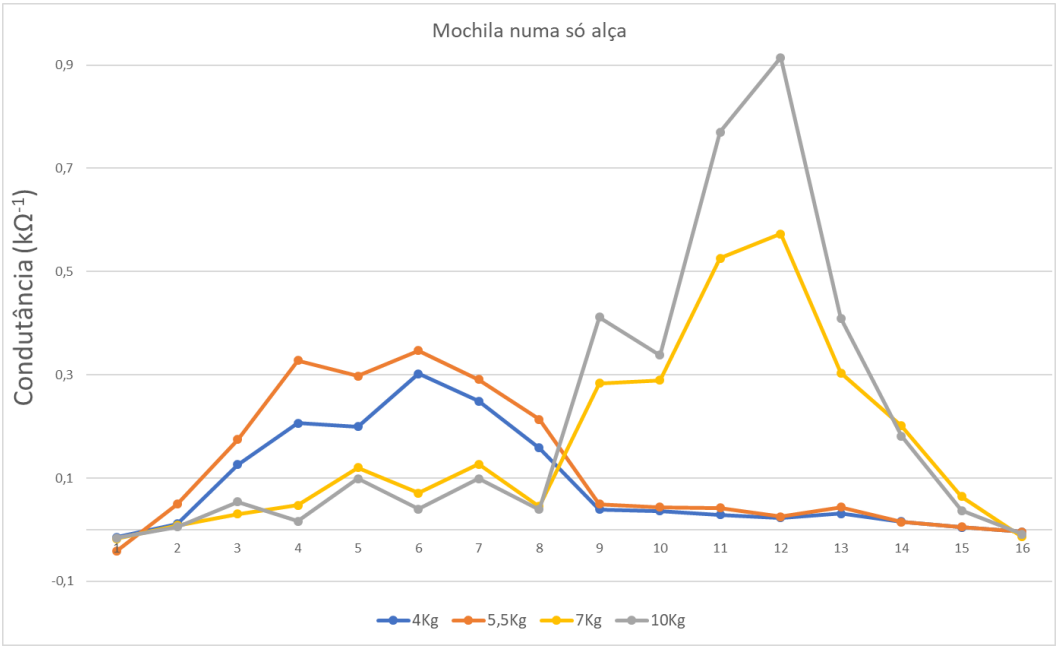
							Caminhada										
Carga 1.5 Kg	-131,028	-189,562	-95,4097	32,29861	28,28472	-116,521	-89,1111	-199,118	-20,3472	-41,1944	-194,417	-166,854	-78,7153	-93,6042	-129,674	-19,6181	Média
Carga 3.0 Kg	-427,479	-408,096	-90,4028	-282,472	-189,799	-78,7847	-36,6806	-161,035	-90,9236	-120,979	-414,479	-288,104	-199,681	-188,569	-160,139	-132,354	
Carga 4.5 Kg	-490,299	-435,096	-202,701	-374,042	-161,965	-309,292	-37,8403	-101,354	-193,243	-129,729	-481,826	-341,083	-261,243	-257,75	-286,986	-441,111	
Carga 6.0 Kg	-527,361	-552,159	-196,604	-404,16	-201,222	-279,347	-130,833	-205,924	-244,104	-125,444	-410,271	-395,715	-419,153	-233,028	-409,118	-483,465	
Carga 1.5 Kg	-1134,41	-1562,03	-852,322	325,6889	284,0644	-1021,65	-800,559	-1627,95	-194,832	-386,732	-1595,65	-1401,13	-713,831	-837,543	-1124,01	-187,981	Resistência (kΩ)
Carga 3.0 Kg	-2945,13	-2849,64	-811,222	-2162,1	-1563,67	-714,416	-345,821	-1358,9	-815,514	-1056,61	-2881,37	-2195,74	-1631,8	-1555,12	-1352,37	-1144,58	
Carga 4.5 Kg	-3237,79	-2981,96	-1652,41	-2675,47	-1365,68	-2319,76	-356,365	-900,642	-1587,55	-1124,43	-3199,75	-2498,63	-2032,64	-2010,92	-2189,09	-3010,77	
Carga 6.0 Kg	-3399,34	-3503,19	-1610,71	-2829,93	-1642,33	-2143,31	-1132,92	-1674,28	-1924,95	-1091,35	-2860,48	-2787,29	-2904,42	-1853,8	-2854,74	-3207,14	
Carga 1.5 Kg	-0,88151	-0,64019	-1,17327	3,070415	3,520329	-0,97881	-1,24913	-0,61427	-5,13263	-2,58577	-0,6267	-0,71371	-1,40089	-1,19397	-0,88967	-5,31968	Condutância (kΩ-1)
Carga 3.0 Kg	-0,33954	-0,35092	-1,23271	-0,46251	-0,63952	-1,39974	-2,89167	-0,73589	-1,22622	-0,94643	-0,34706	-0,45543	-0,61282	-0,64304	-0,73944	-0,87368	
Carga 4.5 Kg	-0,30885	-0,33535	-0,60518	-0,37377	-0,73223	-0,43108	-2,80611	-1,11032	-0,6299	-0,88934	-0,31252	-0,40022	-0,49197	-0,49728	-0,45681	-0,33214	
Carga 6.0 Kg	-0,29417	-0,28545	-0,62084	-0,35337	-0,60889	-0,46657	-0,88268	-0,59727	-0,51949	-0,9163	-0,34959	-0,35877	-0,3443	-0,53943	-0,35029	-0,3118	
	E7	**E6**	**E5**	**E4**	**E3**	**E2**	**E1**	**E0**	**D0**	**D1**	**D2**	**D3**	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**	

6.6.2. - Voluntária- 10 anos- Teste com uma alça

							Alças										
Carga 1.5 Kg	-551,715	-624,999	-256,354	-485,687	-137,5	-177,924	-26,3056	17,07639	240,5625	220,4861	85,91667	-23,2431	-1,85417	113,8611	10,36806	-4,07639	Média
Carga 3.0 Kg	-475,604	-645,437	-261,597	-582,771	-302,257	-309,903	-66,8889	-182,431	297,7569	228,0694	30,41667	-6,40972	-29,6944	89,82639	-19,9306	-56,3264	
Carga 4.5 Kg	-61,6458	-80,4296	310,7778	-125,361	256,1597	103,2778	295,6944	-70,9167	13,14583	-180,465	-483,167	-535,986	-483,729	-475,951	-584,028	-541,826	
Carga 6.0 Kg	-74,6458	26,61905	116,8194	-189,292	144,1042	-39,5694	223,5556	-136,375	-42,5903	-314,569	-542,965	-524,556	-511,347	-506,111	-619,021	-570,062	
Carga 1.5 Kg	-3501,36	-3790,17	-2002,21	-3217,14	-1183,81	-1480,32	-250,456	169,5897	3070,602	2744,024	915,8746	-221,945	-18,0744	1251,03	102,2862	-39,6506	Resistência (kΩ)
Carga 3.0 Kg	-3171,53	-3866,19	-2034,83	-3626,97	-2279,02	-2323,28	-613,16	-1512,15	4099,963	2865,444	306,131	-62,2056	-281,813	961,5599	-190,918	-521,383	
Carga 4.5 Kg	-567,826	-728,245	4357,377	-1090,7	3336,107	1121,704	4060,033	-647,69	130,0468	-1498,3	-3205,79	-3435,84	-3208,33	-3173,11	-3631,95	-3460,32	
Carga 6.0 Kg	-679,435	266,8895	1287,72	-1560,15	1637,741	-372,044	2792,893	-1175,27	-399,312	-2350,04	-3465,08	-3387,39	-3330,5	-3307,68	-3767,58	-3576,16	
Carga 1.5 Kg	-0,2856	-0,26384	-0,49945	-0,31084	-0,84473	-0,67553	-3,99271	5,896584	0,325669	0,364428	1,091853	-4,50562	-55,327	0,799341	9,77649	-25,2203	Condutância (kΩ-1)
Carga 3.0 Kg	-0,31531	-0,25865	-0,49144	-0,27571	-0,43878	-0,43043	-1,6309	-0,66131	0,243905	0,348986	3,266575	-16,0757	-3,54846	1,039977	-5,23784	-1,91798	
Carga 4.5 Kg	-1,7611	-1,37316	0,229496	-0,91684	0,299751	0,891501	0,246303	-1,54395	7,68954	-0,66742	-0,31194	-0,29105	-0,31169	-0,31515	-0,27533	-0,28899	
Carga 6.0 Kg	-1,47181	3,746869	0,776566	-0,64096	0,610597	-2,68786	0,358052	-0,85087	-2,5043	-0,42552	-0,28859	-0,29521	-0,30026	-0,30233	-0,26542	-0,27963	
	E7	**E6**	**E5**	**E4**	**E3**	**E2**	**E1**	**E0**	**D0**	**D1**	**D2**	**D3**	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**	

6.7. Voluntária -13 anos- gráficos

6.7.1. Percurso recorrendo a uma só alça



6.7.2. Percurso com recurso ao conjunto das alças

