



EDUARDA DE AZEVEDO PEREIRA DINIS
Licenciada em Engenharia Biomédica

VALIDAÇÃO DE SISTEMA PARA MONITORIZAÇÃO DO USO DE ORTÓTESE

MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

Universidade NOVA de Lisboa
Outubro, 2022



VALIDAÇÃO DE SISTEMA PARA MONITORIZAÇÃO DO USO DE ORTÓTESE

EDUARDA DE AZEVEDO PEREIRA DINIS

Licenciada em Engenharia Biomédica

Orientadora: Professora Doutora Cláudia Regina Pereira Quaresma
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Coorientadora: Professora Doutora Carla Maria Quintão Pereira
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

©

*Aos meus pais, à minha avó Birinha, aos meus avós, e toda a
restante família.*

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos a todos os que contribuíram para a concretização deste trabalho.

Primeiramente, às minhas orientadoras, à Professora Doutora Cláudia Quaresma e à Professora Doutora Carla Quintão por me terem escolhido para dar continuidade a este projeto. Por todo o apoio, orientação, disponibilidade e ajuda ao longo da realização desta dissertação. Foram sem dúvida das professoras que mais me inspiraram nos 5 anos de curso.

Gostaria também de agradecer ao professor Doutor Ricardo Vigário pelas recomendações e ajuda prestada durante este trabalho.

Agradecer ainda ao Senhor Terapeuta Bruno Mendes, subcoordenador do serviço de Medicina Física e Reabilitação do Hospital Curry Cabral, pela colaboração e apoio que deu.

À Terapeuta Inês Rodrigues, pela simpatia, disponibilidade, colaboração e acompanhamento desde o início ao fim.

Aos restantes elementos da equipa do serviço de Medicina Física e Reabilitação do Hospital Curry Cabral, pela simpatia e disponibilidade em colaborarem neste trabalho.

Ao Senhor Afonso Moutinho e ao Fábio, do laboratório de Instrumentação Biomédica, que sempre me ajudaram quando precisei, nomeadamente a soldar os sensores e em todos os problemas que surgiram inicialmente.

Ao Senhor Professor Rui Tavares, do departamento de Engenharia Eletrotécnica, pela simpatia e disponibilidade em me ajudar com os problemas relacionados com o Bluetooth e o Arduino.

Ao Senhor António Velez e à Senhora Joaquina Velez pelo contributo e pela ajuda que sempre me deram ao longo destes anos de faculdade, em que me fizeram sentir em casa.

Ao meu namorado Hugo Simão que sempre acreditou em mim, por toda a paciência que teve, e por me ter acompanhado nesta grande aventura.

À minha amiga Ana Ferrão por todos os desabafos, motivação e apoio.

À minha amiga Cristina Ornelas pelas deliciosas pausas para café.

Ao meu amigo Miguel Brito pelas boas conversas, aconselhamento e motivação.

RESUMO

Atualmente, em terapêuticas que utilizam ortóteses, a monitorização da adesão dos doentes, assim como do desconforto sentido, ainda é um processo feito de uma forma subjetiva. A recolha de parâmetros como a temperatura e a pressão, foi realizada em alguns estudos, maioritariamente com ortóteses aplicadas ao membro inferior e ao tronco. Em ortóteses aplicadas ao membro superior, os estudos são escassos.

Embora existam estudos relativos ao membro superior em que há uma avaliação da pressão em determinadas zonas, bem como dos pontos críticos em que pode existir uma pressão excessiva, não existe um dispositivo, capaz de recolher em simultâneo, a temperatura e a pressão de contacto, bem como avaliar a adesão do paciente.

Assim, foi desenvolvido um dispositivo, o Ortho-Monitorizer e uma aplicação para Android, numa tese anterior [1] para colmatar esta lacuna. No presente trabalho, realizaram-se aquisições de dados de pressão e temperatura, em pessoas sem patologias do membro superior, para perceber se o dispositivo funcionava corretamente. Foram também feitos testes aos sensores de pressão, em 3 configurações diferentes, que alteravam a distribuição da pressão na área ativa do sensor. Na aplicação, foram implementadas novas funcionalidades, para os terapeutas terem acesso a gráficos, com os valores de pressão e temperatura e à adesão diária. Foram também feitos testes de usabilidade, à parte da aplicação direcionada aos pacientes e feitas algumas melhorias para tornar a interface da aquisição dos dados mais intuitiva.

Conclui-se que embora ainda existam algumas melhorias a serem implementadas, o Ortho-Monitorizer tem bastante potencial para fazer a monitorização de ortóteses.

Palavras-chave: Reabilitação, Monitorização, Ortótese, Adesão, Temperatura, Pressão, Membro Superior, Aplicação para Android

ABSTRACT

Currently, in therapies that use orthoses, monitoring patient compliance, as well as the discomfort felt, is still a subjective process. The acquisition of parameters such as temperature and pressure was performed in some studies, mostly with orthoses applied to the lower limb and trunk. In orthoses applied to the upper limb, studies are scarce.

Although there are studies related to the upper limb, in which there is an assessment of pressure in certain areas, as well as critical points where excessive pressure may exist, there is no device capable of simultaneously collecting temperature and contact pressure, as well as assess patient compliance.

Therefore, a device, the Ortho-Monitorizer, and an application for Android were developed in a previous thesis [1] to fill this gap. In the present work, pressure and temperature data were acquired in people without upper limb pathologies, to see if the device worked correctly. Tests were also carried out on the pressure sensors, in 3 different configurations, which altered the pressure distribution in the active area of the sensor. In the application, new features were implemented, for therapists to have access to graphs, with pressure and temperature values and daily compliance. Usability tests were also carried out, on the patient application section, and some improvements were made, to make the data acquisition interface more intuitive.

It is concluded that although there are still some improvements to be implemented, the Ortho-Monitorizer has a lot of potential to monitor orthoses correctly and in real time.

Keywords: Rehabilitation, Monitoring, Orthoses, Compliance, Temperature, Pressure, Upper Limb, Application for *Android*

ÍNDICE

Índice de Figuras	xii
Índice de Tabelas	xix
Siglas	xxiv
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Relevância	2
1.3 Objetivo	2
1.4 Estrutura	3
2 Conceitos Teóricos	4
2.1 Terminologia Anatômica Geral	4
2.1.1 Posição Anatômica	4
2.1.2 Planos Anatômicos	5
2.1.3 Termos direcionais	5
2.2 Anatomia do Membro Superior	6
2.2.1 Ombro	6
2.2.2 Braço	7
2.2.3 Cotovelo	8
2.2.4 Antebraço e Mão	9
2.3 Doenças Reumatológicas	13
2.3.1 Síndrome do Túnel Cárpico	14
2.3.2 Tenossinovite de <i>Quervain</i>	15
2.4 Ortóteses	15
2.4.1 Definição	16
2.4.2 Aplicação das Ortóteses	16
2.4.3 Classificação	16
2.4.4 Métodos de fabrico	20

2.5	Efeitos adversos na utilização de Ortóteses	21
3	Estado de Arte	23
3.1	Monitorização do uso de ortóteses convencional	23
3.2	Monitorização quantitativa do uso de ortóteses	24
3.3	Apresentação do Ortho-Monitorizer	30
3.3.1	Contextualização	30
3.3.2	Desenvolvimentos Iniciais - Dispositivo	31
3.3.3	Desenvolvimentos Iniciais - Aplicação	35
3.4	Testes de Usabilidade em contexto clínico	38
4	Materiais e Métodos	41
4.1	Materiais	41
4.2	Caraterização da Amostra	42
4.3	Procedimento Experimental	42
5	Apresentação e Dicussão de Resultados	45
5.1	Primeiras Aquisições e Problemas Detetados	45
5.1.1	Pressão	50
5.1.2	Discussão dos resultados das primeiras aquisições	53
5.2	Testes com os sensores de pressão	54
5.2.1	Aquisições sem nenhum material atrás do sensor	56
5.2.2	Aquisições com um material colado atrás do sensor	58
5.2.3	Aquisições com o material com o formato de uma circunferência	61
5.3	Segundas Aquisições	65
5.3.1	Temperatura	65
5.3.2	Pressão	66
5.3.3	Discussão dos resultados do segundo conjunto de aquisições	69
5.4	Testes de Usabilidade	69
5.4.1	Resultados do Questionário SUS	69
5.4.2	Perguntas Complementares	71
6	Ortho-Monitorizer - Novas Implementações	76
6.1	Transferência dos dados	76
6.1.1	Implementação no Arduino®	76
6.2	Aplicação	77
6.2.1	Botão - <i>Instructions of Use</i>	77
6.2.2	Botão - Limpeza da Ortótese	78
6.2.3	Página de Aquisição de Dados	79
6.2.4	Página de Parametrizações	81

6.2.5	Página do Histórico do Doente	82
6.3	Manual de Utilização	85
7	Conclusão e trabalho futuro	86
7.1	Conclusão	86
7.2	Trabalho futuro	88
7.3	Artigo publicado	88
	Bibliografia	89
	Anexos	
I	Ortho-Monitorizer: A portable device to monitor pressure and temperature during the use of upper limb orthoses	98
II	Gráficos e Tabelas para o primeiro conjunto de aquisições	109
III	Gráficos e Tabelas para o segundo conjunto de aquisições	127
IV	Gráficos de tensão e pressão relativos a testes com os sensores de pressão	138
V	Questionário SUS	154
VI	Manual de instruções da aplicação para o paciente	169

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Posição anatômica. Retirado de [8].	4
2.2	Planos anatômicos. Adaptado de [8].	5
2.3	Ilustração dos ossos do membro superior. Adaptado de [10].	6
2.4	Vista posterior do ombro. Retirado de [12].	6
2.5	Músculos anteriores do ombro. Adaptado de [11].	7
2.6	Músculos anteriores do braço (a) e músculo posterior do braço (b), o tricípete braquial. Adaptado de [11].	8
2.7	Representação segmentar do carpo, metacarpo e falanges. Retirado de [14].	9
2.8	Músculos anteriores do antebraço. Adaptado de [16].	11
2.9	Músculos externos do antebraço. Adaptado de [11].	11
2.10	Ilustração da compressão do nervo da Síndrome do Túnel Cárpico. Adaptado de [22].	14
2.11	Tendões envolvidos na tenossinovite de <i>Quervain</i> . Adaptado de [17].	15
2.12	Ortótese para imobilização - Volar de levantamento de punho. Adap- tado de [30].	18
2.13	A Subfigura (a) representa uma ortótese de pulso dinâmica com bobinas, a Subfigura (b) uma ortótese estática progressiva para dedo rígido e a Subfigura (c) uma ortótese estática serial para contratura, em flexão da articulação interfalângica proximal. Adaptado de [30]	19
2.14	Ortóteses fabricadas através de AMT: A - Ortótese de tronco, B - Ortótese de tornozelo e pé. Adaptado de [36].	21
3.1	Dispositivos de monitorização da adesão através de sensores de temperatura. A: iButton®. Adaptado de [60]. B: Orthotimer®. Adap- tado de [61]. C: stTracker®. Adaptado de [62].	24

3.2	Três sensores que medem a temperatura e o tempo e que foram incorporados numa almofada, que podia ser lombar, torácica, trocânica ou de cintura, de uma ortótese toracolombosacral. Adaptado de [6].	25
3.3	Dados obtidos para a utilização da ortótese toracolombosacral, em que as cores preto, cinza escuro e cinza claro representam diferentes registos de temperatura pelos 3 sensores. O aquecimento e o arrefecimento ocorrem de uma forma rápida e verifica-se que há várias remoções da ortótese ao longo da semana, mas apenas uma terá sido registada pelo utilizador. Retirado de [6].	25
3.4	Estimativas da utilização diária da ortótese com base nos dados obtidos de força e temperatura médias para cada paciente. Os pacientes 1, 2, 4 e 7 mostram falta de conformidade entre os dados de temperatura e de força. Retirado de [53].	27
3.5	O conjunto de sensores foi colocado no membro superior do indivíduo e a ortótese foi usada durante 28,5 minutos. Os dados dos 12 sensores são referentes a 25,5 minuto. A pressão foi detectado em 8 dos 12 sensores. Em (b) está representado o histograma para o sensor 4. Retirado de [43].	28
3.6	Em (a) está representado o conjunto de sensores e a localização específica da colocação. Em (c) está representada a ortótese de mão sem estabilização do polegar. Retirado de [44].	28
3.7	Sensor FSR. Adaptado de [1].	32
3.8	Gráfico da resistência do termistor em função da temperatura. Retirado de [1].	33
3.9	Dispositivo ligado a um <i>power bank</i>	34
3.10	Página do <i>Cloud Firestore</i> , com diferentes coleções, documentos e respetivos campos.	35
3.11	Campos de um determinado paciente.	35
3.12	A Subfigura (a) apresenta a página principal, a Subfigura (b) apresenta a página da escolha do tipo de utilizador (paciente ou terapeuta), a Subfigura (c) apresenta a introdução das credenciais para se fazer o login.	36
3.13	A Subfigura (a) apresenta a página de registo do paciente, a Subfigura (b) apresenta o menu principal com os botões de acesso para as páginas de alteração dos dados pessoais " <i>Change personal data</i> ", as instruções de utilização " <i>Instructions of use</i> ", a limpeza da ortótese " <i>Orthosis Cleaning</i> " e o " <i>Logout</i> " para sair da aplicação; A Subfigura (c) apresenta a mensagem que aparece caso o <i>Bluetooth</i> do telemóvel não estiver ligado.	37

3.14	A Subfigura (a) apresenta o menu principal dos terapeutas; a Subfigura (b) apresenta a lista de pacientes; a Subfigura (c) apresenta o botão para visualizar os dados do paciente " <i>Patient data</i> ", o histórico dos pacientes " <i>Historic</i> ", uma página de parâmetros " <i>Parameters</i> " e um botão para retroceder " <i>Back</i> ".	38
3.15	A Subfigura (a) apresenta opções de filtros; a Subfigura (b) apresenta o pop-up de atribuição de função. Retirado de [1].	39
4.1	Fotografia de 3 das ortóteses criadas para este estudo.	41
4.2	Locais anatômicos onde os sensores foram colocados, identificados na pele a caneta. (1) - Ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> , (2) - Extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica, (3) - Extremidade distal da ulna.	43
4.3	A: Colocação do sensor de temperatura referente à zona do ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1); B: Colocação do sensor de pressão referente à zona do ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1); C: Colocação da ortótese.	44
5.1	Gráfico da evolução da temperatura para o voluntário 1, no seu primeiro dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	46
5.2	Gráfico da evolução da temperatura para o voluntário 2, no seu primeiro dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	47
5.3	Gráficos da evolução da temperatura no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1); na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2); na extremidade distal da ulna (3) para o voluntário 1 (a) entre as 9:16 e as 16:58 no segundo dia que fez aquisições, e para o voluntário 4 (b) entre as 19:47 e as 22:44 no primeiro dia que fez aquisições.	49
5.4	Gráfico da evolução da pressão para o voluntário 1 no primeiro dia de aquisições entre as 9:38 e as 15:53 (a) e no segundo dia de aquisições (b) entre as 9:16 e as 16:58 no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	50

5.5	Gráfico da evolução da pressão para o voluntário 3 no primeiro dia de aquisições entre as 14:35 e as 18:00 (a) e no segundo dia de aquisições, entre as 13:09 e as 17:08 (b), no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	52
5.6	Gráfico da evolução da pressão para o voluntário 5 entre as 13:18 e as 14:06 no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	53
5.7	Sensor de pressão sem nenhum material colado na zona posterior da área ativa (A), com um material (plástico semiduro) colado com o formato da área ativa (B) e com o mesmo material, com o formato de uma circunferência (C).	55
5.8	Gráficos da tensão de saída e pressão (sem nenhum material, colado na zona posterior da área ativa do sensor) para a zona 2 (extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica) com o nível de aperto 1 (a), com o nível de aperto 2 (b) e com o nível de aperto 3 (c).	56
5.9	Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 1 com o nível de aperto 2 (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor).	58
5.10	Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 1 (ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i>), com o nível de aperto 3 (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor).	58
5.11	Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 3 (extremidade distal da ulna), com o nível de aperto 2 (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor).	59
5.12	Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 3 (extremidade distal da ulna), com o nível de aperto 3 (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor).	59
5.13	Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 1, (ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i>), para o voluntário 1, com o nível de aperto 1 (a), com o nível de aperto 2 (b) e com o nível de aperto 3 (c) (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência).	61
5.14	Fotografia do membro superior esquerdo do voluntário 3 com a ortótese colocada.	63
5.15	Fotografia do membro superior esquerdo do voluntário 3 com a ortótese colocada.	64

5.16	Gráfico da evolução da temperatura para o voluntário 6, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	66
5.17	Gráfico da evolução e da pressão entre as 17:16 e as 17:55, para o voluntário 1, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	67
5.18	Gráfico da evolução e da pressão entre as 17:16 e as 17:55, para o voluntário 3, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	67
5.19	Gráfico da evolução e da pressão entre as 7:27 e as 8:34, para o voluntário 5, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	68
5.20	Pergunta relativa à pertinência desta tecnologia.	71
5.21	Pergunta relativa ao login.	72
5.22	Pergunta relativa ao primeiro registo na aplicação.	72
5.23	Pergunta relativa à alteração dos dados pessoais.	73
5.24	Pergunta relativa à ligação ao <i>Bluetooth</i>	73
5.25	Pergunta relativa a novas aquisições.	74
5.26	Pergunta relativa a novas aquisições.	74
5.27	Pergunta relativa à identificação dos locais onde se devem colocar os sensores.	75
6.1	Página " <i>Instructions of Use</i> ".	78
6.2	Página " <i>Cleaning and Care</i> ".	79
6.3	Página da Aquisição dos dados preliminar.	80
6.4	Página da Aquisição dos dados atual.	81
6.5	Página das Parametrizações.	81
6.6	A - Início do desenvolvimento dos gráficos. B - Gráficos até ao momento.	83
6.7	Gráfico de barras dos dias em que um determinado paciente tem registos no mês selecionado.	84
6.8	<i>Pie chart</i> com a percentagem de adesão para o dia selecionado, número de horas que o paciente utilizou a ortótese e <i>pie chart</i> com a adesão por período do dia.	85

II.1	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 9:16 e as 16:58 para o voluntário 1 no segundo dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	110
II.2	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 12:55 e as 17:40 para o voluntário 2 no primeiro dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	112
II.3	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 14:29 e as 16:33, para o voluntário 2 no segundo dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	113
II.4	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 14:35 e as 18:02, para o voluntário 3, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	115
II.5	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 13:39 e as 17:10, para o voluntário 3, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	116
II.6	Gráfico da evolução da temperatura entre as 19:47 e as 22:45, para o voluntário 4, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	118
II.7	Gráfico da evolução da temperatura entre as 20:06 e as 22:36, para o voluntário 4, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	119
II.8	Gráfico da evolução da temperatura entre as 13:18 e as 14:08, para o voluntário 5, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	121
II.9	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 11:05 e as 12:46, para o voluntário 6, no ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	123

II.10	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 10:24 e as 12:19, para o voluntário 7, no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	125
III.1	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 1, no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	128
III.2	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 2, no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1); na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2), na extremidade distal da ulna (3).	129
III.3	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 3, no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	130
III.4	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 4, no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	131
III.5	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 5, no ponto mais proeminente do abdutor <i>digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	132
III.6	Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 6, no ponto mais proeminente do <i>abdutor digiti minimi</i> (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).	133

ÍNDICE DE TABELAS

2.1	Termos anatómicos direcionais. Adaptado de [7].	5
2.2	Movimentos da articulação do punho e músculos que os produzem. Adaptado de [15].	10
2.3	Músculos posteriores do antebraço e seus movimentos. Adaptado de [11, 15].	12
2.4	Músculos da mão e seus movimentos. Adaptado de [11].	13
2.5	Comparação de nomes comuns dados a ortóteses com os nomes de acordo com a classificação ASHT. Adaptado de [34].	17
2.6	Exemplo do sistema de classificação descritivo. Adaptado de [34].	18
3.1	Regiões anatómicas onde os sensores foram colocados. Cada número equivale aos números apresentados nas imagens da Figura 3.5 e da Figura 3.6.	29
5.1	Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, entre as 9:38 e as 16:03, para o voluntário 1, no seu primeiro dia de aquisições.	47
5.2	Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos para o voluntário 2, no seu primeiro dia de aquisições.	48
5.3	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 1 no primeiro dia de aquisições (considerando para o cálculo apenas os valores acima de 0).	51
5.4	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 1 no segundo dia de aquisições (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).	51
5.5	Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 1 sem nenhum material.	57
5.6	Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 1, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor.	60

5.7	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 1, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor (apenas considerando para o cálculo, valores acima de 0).	60
5.8	Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 1, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência. .	62
5.9	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 1, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência. .	62
5.10	Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 3, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência. .	63
5.11	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 3, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência. .	63
5.12	Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 4, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência. .	64
5.13	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 4, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência. .	65
5.14	Média e desvio padrão dos valores de tensão e pressão obtidos entre as 17:16 e as 17:55 para o voluntário 1, (sem considerar os momentos iniciais e finais de manipulação dos sensores).	66
5.15	Média e desvio padrão dos valores da tensão e pressão obtidos entre as 14:46 e as 15:43 para o voluntário 3.	68
5.16	Resultados obtidos ao questionário SUS para cada um dos participantes.	70
II.1	Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, para o voluntário 1, no segundo dia de aquisições.	111
II.2	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 1, no segundo dia de aquisições.	111
II.3	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 2, no primeiro dia de aquisições.	114
II.4	Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, para o voluntário 2, no segundo dia de aquisições.	114
II.5	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 2, no segundo dia de aquisições.	114

II.6	Média e desvio padrão dos valores de temperatura obtidos, para o voluntário 3, no primeiro dia de aquisições.	117
II.7	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 3, no primeiro dia de aquisições.	117
II.8	Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, para o voluntário 3, no segundo dia de aquisições.	117
II.9	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 3 no segundo dia de aquisições.	117
II.10	Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, para o voluntário 4, no primeiro dia de aquisições.	120
II.11	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 4, no primeiro dia de aquisições (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).	120
II.12	Média e desvio padrão dos valores da temperatura, obtidos para o voluntário 4, no segundo dia de aquisições.	120
II.13	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 4, no segundo dia de aquisições (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).	120
II.14	Média e desvio padrão dos valores de temperatura obtidos entre as 13:18 e as 13:21 e entre as 13:21 e as 14:08, para o voluntário 5.	122
II.15	Média e desvio padrão dos valores da temperatura 3 obtidos entre as 13:18 e as 13:20 e entre as 13:20 e as 14:08, para o voluntário 5.	122
II.16	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos entre as 13:18 e as 13:21 e entre as 13:21 e as 14:08 para o voluntário 5 (apenas considerando para o cálculo, valores acima de 0 no segundo período de tempo).	122
II.17	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos entre as 11:05 e as 12:46 para o voluntário 6 (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).	124
II.18	Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, entre as 11:05 e as 12:46 (para a zona 1 e a zona 2) e entre as 11:08-12:46 (para a zona 3), para o voluntário 6.	124
II.19	Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, entre as 10:24 e as 12:19, para o voluntário 7 (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).	126
II.20	Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos para o voluntário 7.	126
III.1	Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos, entre as 17:16 e as 17:55, para o voluntário 1.	134

III.2 Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos, entre as 20:25 e as 20:28, para o voluntário 2.	134
III.3 Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos entre as 14:46 e as 15:43 para o voluntário 3.	134
III.4 Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos para o voluntário 4.	135
III.5 Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos para o voluntário 5.	136
III.6 Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos para o voluntário 6.	137

SIGLAS

- ADC** Conversor Analógico-Digital (do inglês, *Analog to Digital Converter*) (pp. 31–33)
- AMT** Tecnologia de Manufatura Aditiva (do inglês, *Additive Manufacturing Technology*) (pp. xii, 21)
- ASHT** *American Society of Hand Therapists* (pp. xix, 16, 17)
- BLE** *Bluetooth Low Energy* (pp. 2, 33, 76, 77, 79)
- CAD** Desenho Assistido por Computador (do inglês, *Computed Aided Design*) (p. 20)
- FDM** Modelagem de Deposição Fundida (do inglês, *Fused Deposition Modeling*) (p. 21)
- FSR** Sensores de Força Resistivos (do inglês *Force Sensing Resistors*) (pp. 31, 32)
- ICs** Circuitos integrados (do inglês, *Integrated Circuits*) (p. 32)
- LOM** Fabricação de Objetos Laminados (do inglês, *Laminated Object Manufacturing*) (p. 21)
- LTTP** Termoplásticos de Baixa Temperatura (do inglês, *Low-Temperature Thermoplastics*) (p. 20)
- QUIS** *Questionnaire for User Interaction Satisfaction* (p. 40)
- SLS** Sinterização a Laser Seletiva (do inglês, *Selective Laser Sintering*) (p. 21)
- STC** Síndrome do Túnel Cárpico (pp. 1, 14)
- SUMI** *Software Usability Measurement Inventory* (p. 40)
- SUS** *System Usability Scale* (pp. xx, 38–40, 69–71, 80, 154)

UUID Identificador Único Universal (do inglês, *Universally Unique Identifier*)
(pp. 76, 79)

INTRODUÇÃO

No presente capítulo é feita a contextualização do trabalho desenvolvido nesta dissertação, é apresentada a sua relevância para a Engenharia Biomédica, os objetivos do trabalho e a forma como o documento foi estruturado.

1.1 Contextualização

As patologias reumatológicas representam um conjunto de doenças degenerativas, autoimunes e inflamatórias que afetam milhões de pessoas globalmente [2].

A Organização Mundial de Saúde, estima que aproximadamente 1.71 bilhões de pessoas tenha doenças que afetam o sistema musculoesquelético. Uma vez que, a população está cada vez mais envelhecida, o número de pessoas afetadas por estas doenças está a aumentar rapidamente e continuará a aumentar nos próximos anos [3].

Estas patologias têm um grande impacto nos indivíduos e na sociedade com uma diminuição da qualidade de vida, na produtividade e um aumento dos custos nos cuidados de saúde [4].

Existem várias doenças do sistema musculoesquelético que afetam o membro superior. A [Síndrome do Túnel Cárpico \(STC\)](#) e a tenossinovite de *Quervain* são dois exemplos de doenças que afetam a capacidade motora dos indivíduos. Os indivíduos sofrem muitas vezes de dores crônicas, fadiga e limitações nos movimentos [5]. Em certas situações, utilizam-se ortóteses para melhorar a funcionalidade motora e a reabilitar os indivíduos. No entanto, verifica-se que muitos dos dispositivos atuais não permitem uma análise quantitativa do seu desempenho relativamente à adesão do doente à ortótese, e em simultâneo detetar precocemente situações de colocação incorreta da mesma [6]. Portanto, os profissionais de saúde ainda dependem muito da descrição do paciente, para fazerem correções que sejam necessárias.

Tendo isto em consideração, foi desenvolvido um dispositivo, o Ortho-Monitorizer e uma aplicação, numa tese de mestrado anterior [1], com o intuito de permitir a monitorização de ortóteses do membro superior.

1.2 Relevância

Os profissionais de saúde são confrontados com vários problemas de extrema importância para a engenharia biomédica, nomeadamente aqueles que envolvem a necessidade de desenvolvimento, análise e aplicação de sistemas e dispositivos médicos.

Uma vez que, grande parte da população mundial é afetada por problemas do foro reumatológico, sendo que muitos requerem a utilização de ortóteses, é fundamental desenvolver ferramentas que permitam monitorizar de forma quantitativa a adesão dos indivíduos à ortótese. É igualmente importante, monitorizar parâmetros que indiquem aos profissionais de saúde se a ortótese está colocada de forma correta e antecipem eventuais situações de risco.

Consequentemente, no futuro será possível analisar e aumentar a eficácia de ortóteses na reabilitação, construir ortóteses melhor ajustadas ao utilizador, identificar e corrigir situações de risco precocemente e tornar a terapêutica mais personalizado consoante as necessidades do doente.

1.3 Objetivo

Como referido anteriormente, esta tese, vem no seguimento de uma tese anterior, em que foi desenvolvido um dispositivo e uma aplicação para Android. O dispositivo consiste num circuito eletrónico acoplado a um Arduino®.

O Ortho-Monitorizer consegue monitorizar em tempo real, a temperatura e a pressão exercidas na pele em 3 pontos específicos, derivados do tipo de ortótese. O intuito deste dispositivo é monitorizar a adesão de doentes a ortóteses do membro superior, assim como, diminuir o desconforto e o aparecimento de feridas em caso de má utilização, potenciando o correto funcionamento da ortótese. Para o desenvolvimento do dispositivo foi utilizado um Arduino® Uno, 3 sensores de temperatura e 3 sensores de força.

No presente trabalho, o objetivo principal era operacionalizar o dispositivo e testá-lo em indivíduos sem patologias do membro superior. Assim, esta dissertação dividiu-se em 4 tarefas principais:

- Implementação da transferência de dados através do *Bluetooth Low Energy (BLE)* para uma base de dados.
- Novas implementações ao nível da aplicação, focadas na parte da monitorização da adesão e dos valores de pressão e temperatura.
- Aquisição de dados de pressão e temperatura a indivíduos sem patologias do membro superior, para criação de uma base normativa, que futuramente será comparada com resultados obtidos com doentes que utilizem ortótese.
- Realização de testes usabilidade.

1.4 Estrutura

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos.

No primeiro capítulo (Capítulo 1), faz-se a apresentação do tema, com a contextualização, seguida da relevância do tema, os objetivos e a organização do documento.

No segundo capítulo (Capítulo 2) são apresentados os conceitos teóricos necessários para a compreensão do tema. Inicialmente, é apresentada a anatomia do membro superior e uma breve descrição de duas doenças reumatológicas mais frequentes: a Síndrome do Túnel Cárpico e a Tenossivite de *Quervain*. Seguidamente, são apresentados conceitos relacionados com as ortóteses e a sua utilização.

No terceiro capítulo (Capítulo 3), é feita a revisão bibliográfica, onde são apresentados alguns trabalhos de como é feita a monitorização do uso das ortóteses. É apresentado o método tradicional, em que se utilizam questionários e as formas mais avançadas que incluem sensores. De seguida é apresentado o Ortho-Monitorizer, com as implementações realizadas na tese anterior [1] e são descritos alguns testes de usabilidade, aplicados em contexto clínico.

No quarto capítulo (Capítulo 4) são apresentados os materiais e métodos.

No quinto capítulo (Capítulo 5) apresentam-se os gráficos, dos dados recolhidos de pressão e temperatura, obtidos com aquisições feitas em pessoas sem patologias e os problemas que foram encontrados.

Seguidamente, são apresentados os resultados de testes realizados aos sensores de pressão. Nestes testes, fizeram-se aquisições de tensão de saída e de pressão em 3 modalidades distintas e para 3 graus de aperto dos velcros da ortótese. Finalmente, são apresentados gráficos de pressão e temperatura para uma segunda fase de aquisições, após a resolução dos problemas detetados na primeira fase de aquisições. São apresentados apenas alguns dos gráficos, sendo que os restantes se encontram em anexo. No final do capítulo, são apresentados os resultados dos testes de usabilidade, relativos à parte da aplicação, direcionada aos pacientes.

No sexto capítulo (Capítulo 6) são apresentadas as novas implementações, nomeadamente ao nível da transferência dos dados para a base de dados, ao nível da aplicação para Android e o manual de utilizador que foi desenvolvido. São também apresentadas algumas alterações que foram feitas com base nos testes de usabilidade.

No sétimo capítulo (Capítulo 7), são apresentadas as conclusões sobre o trabalho desenvolvido, e deixam-se sugestões para trabalho futuro.

CONCEITOS TEÓRICOS

Este capítulo, começa por apresentar a terminologia anatómica geral e a anatomia do membro superior. Seguidamente, é apresentado o conceito de doenças reumatológicas, com uma descrição mais detalhada da Síndrome do Túnel Cárpico e da Tenossinovite de *Quervain*. No final do capítulo, é apresentado o conceito de ortótese, métodos de fabrico de ortóteses e efeitos adversos da sua utilização, em que a temperatura e pressão são parâmetros com elevada importância.

2.1 Terminologia Anatómica Geral

2.1.1 Posição Anatómica

A posição anatómica, é utilizada como referência quando se pretende descrever uma orientação, localização, direção ou movimento do nosso corpo. Considera-se que nesta referência, como se pode ver na Figura 2.1 a pessoa está de pé, com os membros superiores ao longo do corpo e a face palmar voltada para a frente. Os pés estão ligeiramente paralelos e os dedos são orientados para a frente [7].



Figura 2.1: Posição anatómica. Retirado de [8].

2.1.2 Planos Anatômicos

Os planos anatômicos são três secções imaginárias que dividem o corpo. O plano frontal, divide o corpo em parte anterior e posterior. O plano sagital, divide o corpo em parte direita e esquerda e o plano transversal em parte superior e inferior, como se observa na Figura 2.2.

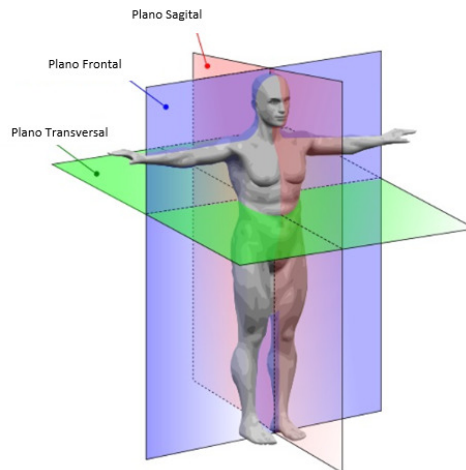


Figura 2.2: Planos anatômicos. Adaptado de [8].

2.1.3 Termos direcionais

Os termos direcionais permitem comparar a posição de duas estruturas, uma em relação à outra. A Tabela 2.1.3 apresenta alguns dos termos mais utilizados.

Tabela 2.1: Termos anatômicos direcionais. Adaptado de [7].

Termos direcionais e relações	
Termo	Descrição
Anterior	Na frente do corpo
Posterior	Atrás do corpo
Distal	Afastado ou mais distante do tronco ou do ponto de referência
Proximal	Mais perto do corpo ou em direção a ele, ou ao ponto de origem de uma parte do corpo
Mediano	Linha média do corpo
Lateral	Afastado da linha média
Superior	Acima de
Inferior	Abaixo de
Externo	Em direção à superfície, superficial
Interno	Longe da superfície, profundo

2.2 Anatomia do Membro Superior

O membro superior (Figura 2.3) é uma unidade funcional da parte superior do corpo, sendo responsável pelas atividades manuais ou de preensão. Para efeitos descritivos divide-se em 4 secções: ombro, braço, antebraço e mão [9]. Serão apresentados seguidamente os ossos do membro superior, as articulações, os músculos, e os movimentos.

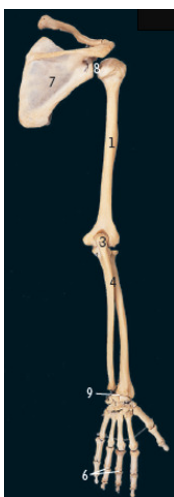


Figura 2.3: Ilustração dos ossos do membro superior. Adaptado de [10].

2.2.1 Ombro

O **ombro**, é constituído pela clavícula na parte da frente e pela escápula atrás (Figura 2.4), sendo o elo de ligação entre o membro superior e o tórax [11].

As articulações pertencentes ao ombro são a articulação esternoclavicular, que une a extremidade interna da clavícula com o esterno e com a primeira cartilagem costal, a articulação escápulotorácica, que une a escápula ao tórax, a articulação acromioclavicular, que une a clavícula à escápula e a articulação glenoumeral, que une a escápula ao úmero [11].



Figura 2.4: Vista posterior do ombro. Retirado de [12].

Os movimentos permitidos pela articulação acromioclavicular são movimentos de deslizamento em todos os sentidos. Relativamente à articulação glenoumeral, esta permite

vários tipos de movimentos: movimentos de abdução e de adução em torno de um eixo antero-posterior; movimentos de flexão e extensão em torno de um eixo transversal que passa pela cabeça do úmero; a combinação destes quatro, que resulta num movimento de circundução e movimentos de rotação para fora e para dentro [11].

Conjugando estes movimentos com os movimentos permitidos pela cintura escapular, dá origem a movimentos de abaixamento e elevação da clavícula e da escápula, movimentos de deslizamento da escápula para fora e para dentro e movimentos de rotação externa e interna da escápula [11].

Os músculos do ombro subdividem-se em músculos anteriores, internos, posteriores e externos. Os músculos anteriores (Figura 2.5) são o músculo grande peitoral, pequeno peitoral e subclávio. Estes músculos inserem-se no tórax, na clavícula, na escápula, e no úmero [11].

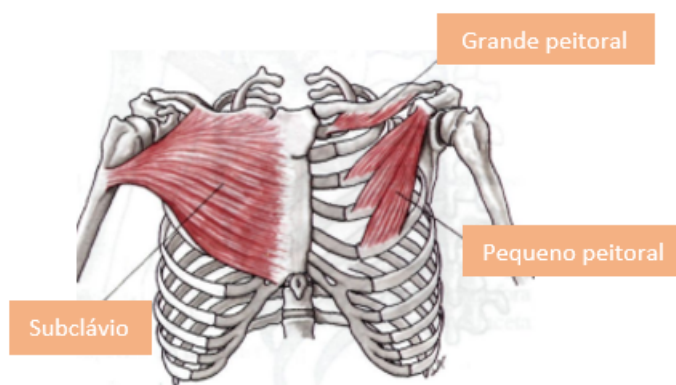


Figura 2.5: Músculos anteriores do ombro. Adaptado de [11].

O músculo grande dentado é o único músculo interno do ombro e insere-se na escápula e em várias costelas [11]. Os músculos posteriores englobam o músculo grande redondo, que se insere na escápula e no úmero, e os músculos supra-espinhoso, infra-espinhoso, pequeno redondo e infra-escapular que se inserem na escápula e no troquino [11]. Por fim, o músculo externo do ombro é o deltóide, que se insere na escápula, na clavícula e no úmero [11].

2.2.2 Braço

O **braço**, encontra-se entre o ombro e o cotovelo e é constituído pelo úmero. Este articula-se com a escápula, através da articulação glenoumeral, com o rádio, através da articulação úmero-radial e com a ulna, através da articulação úmero-ulnar [11].

O braço apresenta três músculos anteriores (Subfigura 2.6(a)): o músculo bicípete braquial, o músculo córaco-braquial e o músculo braquial anterior [11].

O bicípete braquial estende-se da escápula ao rádio, produzindo movimentos de flexão do antebraço, quando o cotovelo está em extensão. Quando o cotovelo se encontra fletido, produz supinação do antebraço [11].

O córaco-braquial situa-se por dentro do bicípete e estende-se desde a apófise coracóideia ao úmero. Este músculo, ajuda na flexão e na abdução do braço [11].

O braquial anterior situa-se na porção inferior do úmero atrás do bicípete braquial, sendo um flexor da articulação do cotovelo [11].

Na sua zona posterior (Subfigura 2.6(b)), o braço apresenta o músculo tricípete braquial que tem três porções e participa na extensão do ombro [11].

Os três músculos anteriores são todos inervados pelo nervo musculocutâneo. O braquial anterior é também inervado pelo nervo radial assim como o tricípete [11].

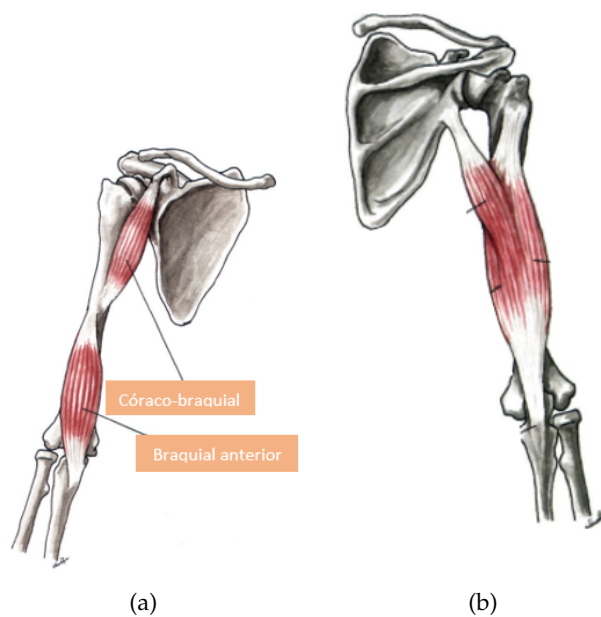


Figura 2.6: Músculos anteriores do braço (a) e músculo posterior do braço (b), o tricípete braquial. Adaptado de [11].

2.2.3 Cotovelo

A articulação do **cotovelo** é uma articulação entre a extremidade inferior do úmero e as extremidades superiores do rádio e da ulna. Esta articulação, engloba a articulação úmero-ulnar, entre a tróclea do úmero e a incisura troclear da ulna, a articulação úmero-radial, entre o capítulo do úmero e a cabeça do rádio e a articulação rádio-ulnar superior. A articulação rádio-ulnar superior tem como superfícies articulares, a circunferência da cabeça do rádio e um anel fibro-ósseo feito através da incisura radial da ulna e do ligamento anular [11].

Sendo uma articulação uniaxial, a articulação do cotovelo permite apenas flexão e extensão [13].

2.2.4 Antebraço e Mão

O **antebraço** é constituído por dois ossos paralelos um ao outro, o rádio, que se encontra na parte externa do antebraço e a ulna, que se encontra na parte interna. Estes ossos mantêm-se unidos através da membrana interóssea [11].

A ulna articula-se com o úmero, o rádio e o piramidal. Relativamente ao rádio, além da ulna este articula-se com o úmero, o escafóide e o semilunar [11].

Ambas as extremidades do rádio e da ulna articulam-se entre si, formando as articulações rádio-ulnares superior e inferior. Os movimentos de supinação e pronação do antebraço ocorrem nestas articulações. As articulações do cotovelo e rádio-ulnar têm como objetivo, colocar a mão na posição desejada [11].

A **mão** é constituída por 27 ossos divididos em três grupos (Figura 2.7): o carpo, com oito ossos, dispostos em duas fileiras; o metacarpo, com cinco metacárpicos, que são ossos longos e dispostos verticalmente e 5 dedos, constituídos por três falanges, à exceção do primeiro que possui apenas duas [11].

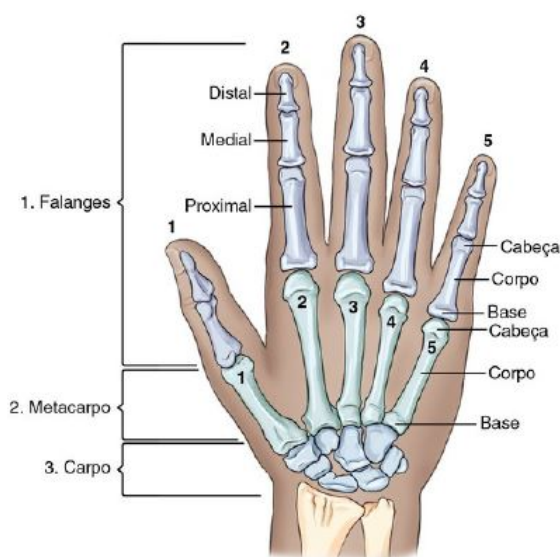


Figura 2.7: Representação segmentar do carpo, metacarpo e falanges. Retirado de [14].

Relativamente às articulações, ao nível do punho, existe a articulação rádio-procárpica ou do punho e as articulações que unem entre si os ossos do carpo, do metacarpo e dos dedos, que constituem as articulações da mão [11].

O carpo é constituído por oito ossos curtos, dispostos em duas fileiras: a primeira, a mais próxima do antebraço, denomina-se de procarpo e é constituída, de fora para dentro, pelos seguintes ossos: escafóide; semilunar; piramidal; e pisiforme [11]. A segunda fileira ou mesocarpo é constituída, também de fora para dentro, pelos seguintes ossos: trapézio; trapezóide; grande osso ou capitado; e unciforme [11].

O metacarpo é constituído por cinco ossos longos, os metacárpicos, denominados respetivamente de I, II, III, IV e V, indo de fora para dentro. Cada um dos metacárpicos

encontra-se separado do seu vizinho por um espaço elíptico denominado espaço interósseo ou intermetacárpico [11].

Os dedos, distinguem-se, indo de fora para dentro, em I ou polegar, II ou indicador, III ou médio, IV ou anular e V ou mínimo. Os dedos são constituídos por três ossos longos, as falanges, à exceção do polegar que apenas possui duas. As falanges são constituídas pelo corpo, a extremidade superior e a extremidade inferior [11].

Relativamente aos músculos presentes no antebraço, existem oito músculos anteriores, quatro músculos externos e oito posteriores [11].

Os músculos anteriores, mais superficiais, num primeiro plano de fora para dentro são: o redondo pronador, o grande palmar, o pequeno palmar e o cubital anterior ou flexor ulnar do carpo [11].

O redondo pronador é o pronador principal do antebraço, ajudando na flexão do ombro. Os restantes músculos anteriores do antebraço, juntamente com outros que serão apresentados de seguida, produzem os movimentos do punho, que são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Movimentos da articulação do punho e músculos que os produzem. Adaptado de [15].

Movimento	Músculos
Flexão	Grande Palmar; Cubital anterior; Pequeno Palmar
Extensão	Longo Radial; Curto Radial; Cubital posterior
Abdução	Grande Palmar; Longo Radial; Curto Radial; Longo abductor do polegar
Desvio ulnar	Cubital anterior; Cubital posterior

Continuando nos músculos anteriores mais superficiais do antebraço, num segundo plano, apresenta-se o flexor comum superficial dos dedos, que é o maior músculo do conjunto de músculos superficiais do antebraço. Este músculo, provoca a flexão das articulações interfalângicas dos quatro dedos mediais. Também ajuda na flexão das falanges proximais e na flexão do punho [15].

Num terceiro plano de dentro para fora, apresenta-se o flexor comum profundo dos dedos e o longo flexor do polegar. O flexor comum profundo dos dedos, é o mais volumoso e poderoso músculo na parte anterior do antebraço e fornece poder de preensão da mão. Este músculo, provoca a flexão das articulações interfalângicas distais e do punho. O longo flexor do polegar, é responsável pela flexão da falange distal do polegar e da falange proximal e primeiro metacarpo, nas articulações metacarpofalângica e carpometacárpica, respetivamente [11].

A maior profundidade, num quarto plano encontra-se o quadrado pronador. Este músculo é o principal pronador do antebraço e é assistido pelo redondo pronador apenas em movimentos rápidos e vigorosos de pronação [11].

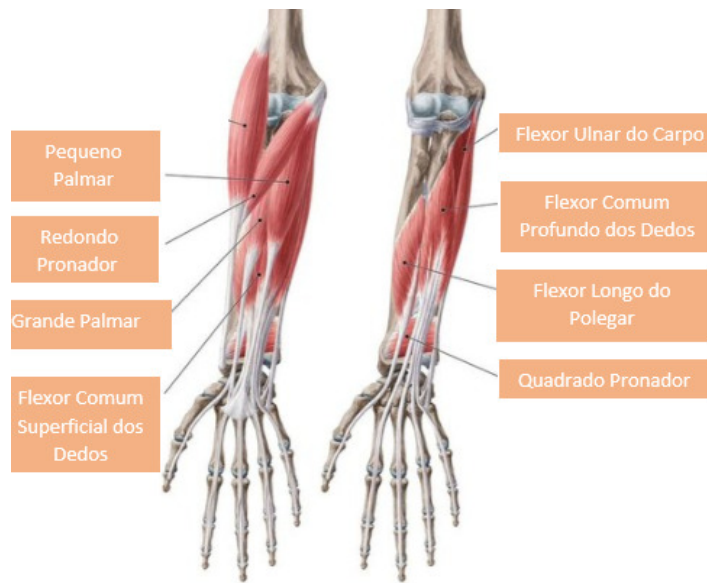


Figura 2.8: Músculos anteriores do antebraço. Adaptado de [16].

Os músculos externos da superfície para a profundidade são o longo supinador, o longo radial, o curto radial e o curto supinador (Figura 2.9) [11].

Os movimentos associados ao longo supinador são: a flexão do cotovelo, pronação do antebraço quando este está supinado numa posição mediana e supinação do antebraço quando este está em pronação numa posição mediana [11].

O longo radial provoca a extensão do punho, quando atua em conjunto com o cubital posterior e com o curto radial e a abdução do punho, ou desvio radial, quando atua com o grande palmar [15], (Tabela 2.2).

O curto supinador provoca a supinação do antebraço [11].

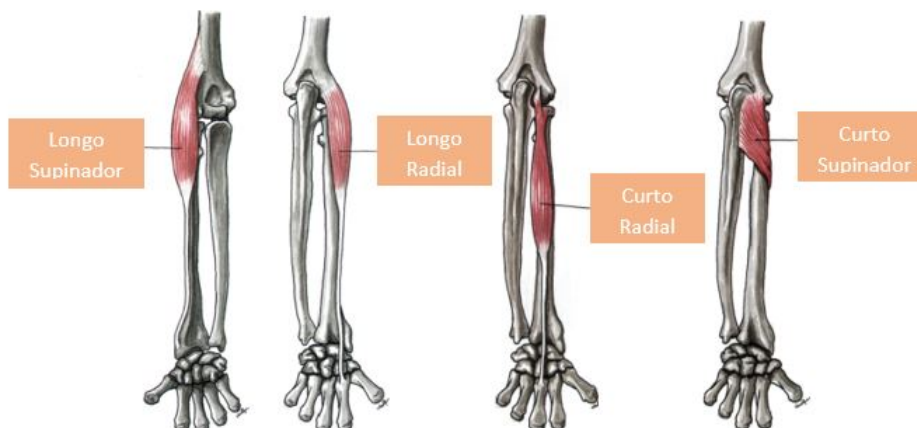


Figura 2.9: Músculos externos do antebraço. Adaptado de [11].

Os músculos posteriores que se encontram num plano mais superficial são, de fora para dentro, o extensor comum dos dedos, o extensor próprio do dedo mínimo, o cubital posterior e o ancónio [11]. A maior profundidade, de fora para dentro está o longo abductor do polegar, o curto extensor do polegar, o longo extensor do polegar e o extensor próprio do indicador [11]. Os movimentos de cada um destes músculos são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Músculos posteriores do antebraço e seus movimentos. Adaptado de [11, 15].

Músculos	Movimentos
Extensor comum dos dedos	Extensão dos 4 dedos medianos, ajudando na extensão do punho
Extensor próprio do dedo mínimo	Extensão do dedo mínimo, ajudando na extensão do punho
Cubital posterior	Extensão do punho e desvio ulnar
Ancónio	Extensor fraco do cotovelo
Longo abductor do polegar	Abdução do polegar
Curto extensor do polegar	Extensão do polegar na articulação metacarpo-falângica e da articulação carpometacárpica
Longo extensor do polegar	Extensão do polegar
Extensor próprio do indicador	Extensão do indicador

Relativamente às articulações da mão, começando pelo carpo, a sua primeira fileira encontra-se unida através das articulações procárpicas. Entre os ossos do procarpo e do mesocarpo, com exceção do pisiforme, apresenta-se a articulação pró-mesocárpica [11].

As articulações mesocárpicas localizam-se entre os 4 ossos do mesocarpo e as articulações meso-metacárpicas, unem a extremidade superior dos metacárpicos aos ossos do mesocarpo [11].

Relativamente às articulações intermetacárpicas, estas unem as extremidades superiores dos quatro últimos metacárpicos [11].

As articulações metacárpico-falângicas, unem a extremidade inferior do metacárpico com a extremidade superior da primeira falange [11].

Finalmente, as articulações interfalângicas, são articulações entre a extremidade inferior da primeira falange e a extremidade superior da segunda falange e entre a extremidade inferior da segunda falange e a extremidade superior da terceira falange. No polegar existe apenas uma articulação interfalângica, uma vez que neste dedo não há segunda falange [11].

Em relação aos músculos da mão, estes classificam-se em músculos palmares externos, músculos palmares internos, músculos palmares médios e músculos interósseos da mão [11].

Os palmares externos englobam o músculo curto abductor do polegar, curto flexor do polegar, oponente do polegar e adutor do polegar [11].

Os palmares internos estão relacionados com o dedo mínimo, com exceção do músculo palmar cutâneo. Estes, englobam os músculos adutor do dedo mínimo, curto flexor do dedo mínimo e oponente do dedo mínimo [11].

Os músculos palmares médios são músculos anexos aos tendões do flexor comum profundo dos dedos [11].

Os músculos interósseos da mão são músculos que se encontram nos espaços intermetacárpicas, podendo ser palmares ou dorsais [11].

Os movimentos dos músculos da mão são apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Músculos da mão e seus movimentos. Adaptado de [11].

Músculos	Movimentos
Curto abductor do polegar; Curto flexor do polegar; Adutor do polegar	Abdução do polegar
Oponente do polegar	Leva o primeiro metacárpico para diante e para dentro
Adutor do dedo mínimo	Adução do dedo mínimo em relação ao plano sagital mediano do corpo. Acessoriamente é um flexor do dedo mínimo.
Curto flexor do dedo mínimo	Flexão do dedo mínimo
Oponente do dedo mínimo	Leva o dedo mínimo para diante e para fora
Palmares médios	Flexão da primeira falange e extensão das outras duas
Palmares médios; Interósseos palmares e dorsais	Flexão da primeira falange e extensão das outras duas
Interósseos dorsais	Afastam os dedos do eixo da mão
Interósseos palmares	Aproximam os dedos do eixo da mão

2.3 Doenças Reumatológicas

Há mais de 100 doenças consideradas como sendo doenças reumatológicas, incluindo a artrite reumatoide, osteoartrite, fibromialgia, tendinites e doenças autoimunes como o lupus. Estas doenças, são consideradas patologias em que há alterações funcionais do sistema musculoesquelético de causa não traumática, tendo um grande impacto na sociedade e nos custos em saúde em todo o mundo [4].

Como as doenças reumatológicas comprometem a biomecânica do sistema musculoesquelético, em situações que afetem articulações, os músculos que as rodeiam, produzem forças deformadoras que levam à perda de movimento. Assim, as ortóteses são utilizadas neste tipo de patologias, nomeadamente para reduzir a dor inerente ao movimento,

a inflamação, dar suporte a articulações, reduzir forças deformadoras e esticar tendões apertados [17].

2.3.1 Síndrome do Túnel Cárpico

A **Síndrome do Túnel Cárpico (STC)** provoca compressão ou irritação do nervo mediano no punho (Figura 2.10) e, normalmente, as pessoas queixam-se de dormência e formiguios na zona da mão onde está esse nervo. Estes sintomas podem ser causados pela flexão prolongada do punho e movimentos dos dedos [18]. Pessoas que fazem movimentos repetitivos, nomeadamente a usar o teclado do computador, podem desenvolver esta síndrome. No entanto, grande parte dos casos é de causa desconhecida [19].

A **STC** é uma das neuropatias mais prevalentes do membro superior, estimando-se uma prevalência na população com idades entre os 40 e os 60, de 4% a 5% [20].

Esta patologia pode ser classificada como idiopática ou dinâmica. A idiopática, está relacionada com uma degeneração do tecido conjuntivo, que provoca uma hipertrofia da bainha sinovial dos tendões flexores, o que acontece mais frequentemente no sexo feminino. Verifica-se que há uma maior predisposição para este tipo, consoante o sexo, idade, fatores genéticos e o tamanho do túnel cárpico [20].

Na **STC** dinâmica, verifica-se quando se faz movimentos repetitivos de extensão e flexão do punho, flexão dos dedos e supinação do antebraço [20], que resultam num aumento da pressão no túnel cárpico.

Utiliza-se uma ortótese de punho em casos não muito severos, porque as observações indicam que os sintomas melhoram com o repouso. O efeito terapêutico advém da minimização da pressão no túnel cárpico [21].

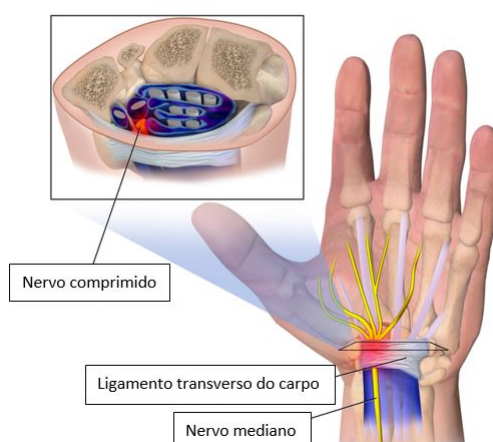


Figura 2.10: Ilustração da compressão do nervo da Síndrome do Túnel Cárpico. Adaptado de [22].

2.3.2 Tenossinovite de *Quervain*

A prevalência da tenossinovite de *Quervain* encontra-se entre 0,7% a 36% em populações trabalhadoras, sendo que as pessoas com esta condição, demonstram uma diminuição da força de preensão [23].

Em mulheres, há uma prevalência de 1,3% com o pico entre os quarenta e cinquenta anos. Em casos de desvio do punho para o lado da ulna, como no ténis, há mais risco de desenvolver esta patologia [24]. Quando se pega em crianças ao colo, com muita frequência, também pode aparecer em ambas as mãos [25].

Esta síndrome, provoca a inflamação dos tendões, incluindo o extensor curto do polegar e o abductor longo do polegar que estendem as articulações do polegar (Figura 2.11), [23]. O primeiro compartimento dorsal do punho, contém estes tendões, sendo revestido por uma bainha sinovial, que o separa dos outros cinco compartimentos dorsais do punho [25].

Assim, como estes tendões passam por um túnel fibroso de aproximadamente 2 cm de comprimento, caso ocorram movimentos repetitivos ou trauma agudo nessa zona, isto provoca inflamação que prende os tendões [25].

Para indivíduos com sintomas persistentes, anti-inflamatórios e injeções de corticosteroides, são as opções de tratamento não cirúrgico mais utilizadas [25]. Para imobilizar o polegar e o punho, de modo a ajudar com a dor sentida, uma ortótese é prescrita nos estados agudo e crónico da doença [23].

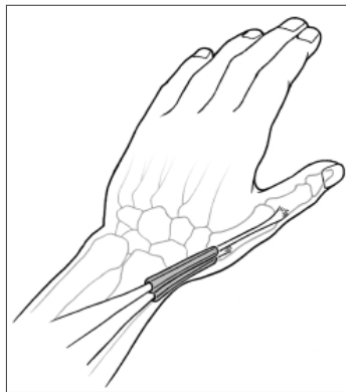


Figura 2.11: Tendões envolvidos na tenossinovite de *Quervain*. Adaptado de [17].

2.4 Ortóteses

A necessidade de ortóteses surge, devido a uma deformidade ou disfunção num membro do corpo. Nos primórdios da antiguidade estes dispositivos, eram feitos à mão e usando osso, madeira, couro e mais tarde metais [26]. Nos tempos modernos, os principais períodos de guerra e o número resultante de soldados gravemente feridos impulsionaram o seu desenvolvimento [27].

2.4.1 Definição

Uma ortótese é definida pelo *Oxford Concise Medical Dictionary* como "um dispositivo que exerce forças externas numa parte do corpo para suportar articulações ou corrigir uma deformidade"[28]. Outra definição feita pela Organização Internacional para a Padronização apresenta a ortótese como "um dispositivo utilizado para modificar características estruturais e funcionais do sistema musculoesquelético"[29]. Os objetivos da utilização de uma ortótese são, entre outros, o alívio de dor, o posicionamento funcional de um segmento do corpo e a imobilização pós-operatória [30].

2.4.2 Aplicação das Ortóteses

As ortóteses são utilizadas para várias finalidades, no entanto as aplicações podem ser divididas em 3 grupos:

- Aplicação em disfunções resultantes de lesões musculoesqueléticas, em que as ortóteses são usadas como suporte à cura, como na Síndrome do Túnel Carpiano e na Tenossinovite de *Quervain* [31].
- Aplicação em disfunções por lesão do Sistema Nervoso Central, por exemplo, em adultos que sofreram Acidente Vascular Cerebral, que ajuda na manutenção de amplitudes articulares, nomeadamente quando se faz a higiene diária [31].
- Aplicação em disfunções do Sistema Nervoso Periférico [31].

2.4.3 Classificação

Existem 4 sistemas de classificação de ortóteses, uma vez que existe uma falta de consenso na terminologia a adotar globalmente [32,33]. Estes sistemas são: o sistema de classificação da *American Society of Hand Therapists (ASHT)*, o sistema de classificação por acrónimo, o sistema de classificação descritivo e o sistema de classificação por epónimo [34]. A *ASHT* é uma organização que engloba terapeutas ocupacionais, especialistas no tratamento e reabilitação do membro superior.

O sistema de classificação da *American Society of Hand Therapists* considera a função mais importante, do que o estilo ou o design da ortótese e, portanto, o foco da nomenclatura é a função da ortótese e as partes anatómicas onde atua. De acordo com esta classificação, as ortóteses podem ser articulares ou não articulares. Cada um destes grupos tem uma localização específica [34].

As ortóteses articulares, como envolvem movimento articular têm uma direção de movimento e, portanto, podem ser de mobilização, imobilização, restrição ou transmissão em torque. Estas ortóteses têm também um tipo, que varia conforme o número de articulações afetadas secundariamente.

Contrariamente às articulações primárias, as articulações secundárias afetadas com a utilização da ortótese, fornecem uma posição de estabilização das articulações, imediatamente adjacentes às primárias. O número total de articulações envolvidas é escrito entre

parênteses no final da frase descritiva [34]. A Tabela 2.5 apresenta a comparação de nomes comuns de ortóteses e de nomes usando a classificação ASHT.

Tabela 2.5: Comparação de nomes comuns dados a ortóteses com os nomes de acordo com a classificação ASHT. Adaptado de [34].

Nome Comum	Nome ASHT
Ortóttese de extensão do punho	Imobilização em extensão do punho; tipo 0[1]
Ortóttese dinâmica de extensão do punho	Mobilização em extensão do punho; tipo 0[1]
Ortóttese dinâmica de extensão do punho e Metacarpofalângica/ ortóttese da paralisia do nervo radial	Mobilização em extensão do punho, flexão da metacarpofalângica; tipo 0[1]
Laço de flexão dos dedos	Mobilização em flexão das Interfalanges proximais do 2º ao 5º dedos; type 1[8]
Ortóttese de correção do desvio ulnar	Restrição do desvio ulnar da metacarpofalângica do 2º ao 5º dedos; 0[4]
<i>Mallet finger</i>	Imobilização em extensão da Interfalange distal do 2º dedo; 0[1]

O sistema de classificação por acrônimo combina as letras iniciais das articulações para criar siglas. Por exemplo, a ortóttese do membro superior, que inclui uma parte maior do antebraço, é denominada como ortóttese de punho e mão. O sistema pode ser aperfeiçoado para incluir informações mais detalhadas. Por exemplo, uma ortóttese de punho e mão, com extensão metacarpofalângica, que auxilia o segundo dedo (indicador) ao quinto dedo (mínimo), seria denominada “WHO com extensão MCP 2-5 auxiliar” [34].

O sistema de classificação descritivo baseia-se em 3 critérios: o tipo de forças envolvidas assim como os planos espaciais onde se aplicam, o local anatômico, e o objetivo da ortóttese em termos dos movimentos. Embora este sistema apresente mais detalhes da ortóttese, pode promover discrepâncias na comunicação [34]. A Tabela 2.6 apresenta exemplos do sistema de classificação descritivo.

Quando a ortóttese tem o nome da pessoa que a criou (por exemplo, a ortóttese *Capener*), ou do local de origem (por exemplo, a Cinta *Milwaukee*), é classificada de acordo com o sistema de classificação por epônimo. Através da utilização de um nome simples, o diagnóstico, tratamento e o desenho da ortóttese, são entendidos mais facilmente. A desvantagem é que a memorização de todos os nomes, é um processo difícil e esta abordagem também não ajuda, quando é necessário fazer ajustes ou algum tipo de inovação [34].

Tabela 2.6: Exemplo do sistema de classificação descritivo. Adaptado de [34].

Classificação com referência a	Exemplo
Objetivo da aplicação	Prevenir/corrigir deformidade; Apoiar, proteger ou imobilizar as articulações; Controlo da coordenação.
Configuração Externa	Ortótese de barra; Ortótese de mola; Ortótese contornada
Caraterísticas Mecânicas	Ortótese estática; Ortótese dinâmica
Parte Anatômica	Ortótese de pulso; Ortótese de dedo; Ortótese de polegar
Como/Onde/Porquê	Ortótese de mobilização carpometacarpal simples; Composto complexo de polegar e ortótese de extensão

Considerando a divisão das ortóteses em ortóteses para **imobilização** (Figura 2.12), e ortóteses para **mobilização** (Figura 2.13), sabe-se que as primeiras, exercem uma força estática no local do corpo onde são colocadas, não tendo partes móveis e as segundas, são construídas com partes móveis que podem ser ajustadas de acordo com a necessidade [30].

Os objetivos principais das ortóteses para imobilização são [30]:

- Alívio dos sintomas.
- Proteção e maximização da função.
- Melhoria e preservação do alinhamento das articulações.



Figura 2.12: Ortótese para imobilização - Volar de levantamento de punho. Adaptado de [30].

Os objetivos principais das ortóteses para mobilização são [30]:

- Aumento da amplitude articular.
- Aumento da resistência durante exercício físico.
- Substituição de músculo fraco ou ausente.
- Alongamento de contraturas de tecidos moles.

As ortóteses podem ainda ser classificadas tendo em conta a sua biomecânica, como estáticas e dinâmicas. As ortóteses dinâmicas possuem componentes elásticos e são mais utilizadas para ampliar o movimento articular passivo (Figura 2.13(a)), ou seja, através de forças específicas impõem movimento a articulações [30].

As ortóteses estáticas têm como objetivo imobilizar e posicionar as articulações numa determinada posição. Estas, ainda se subdividem em dois subtipos: progressivas (Figura 2.13(b)), e seriais (Figura 2.13(c)).

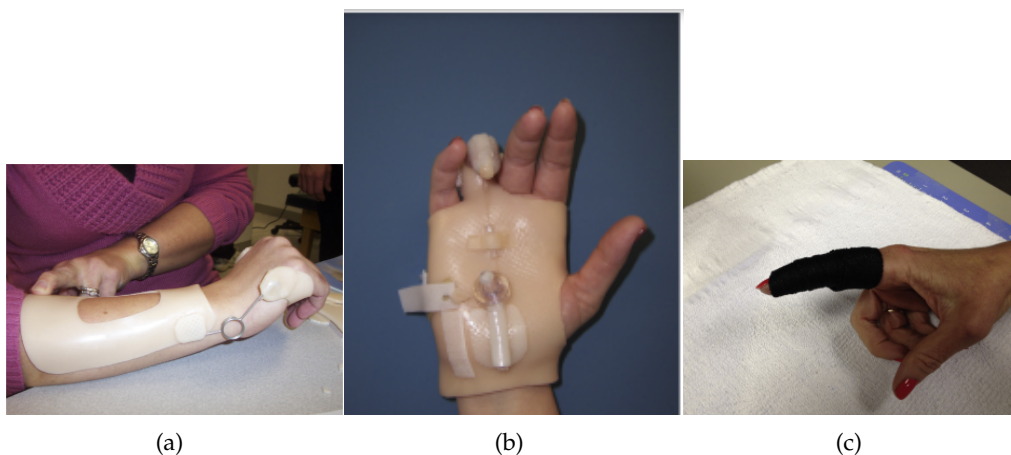


Figura 2.13: A Subfigura (a) representa uma ortótese de pulso dinâmica com bobinas, a Subfigura (b) uma ortótese estática progressiva para dedo rígido e a Subfigura (c) uma ortótese estática serial para contratura, em flexão da articulação interfalângica proximal. Adaptado de [30]

As ortóteses estáticas progressivas, incluem componentes inelásticos, cujo objetivo é puxar articulações rígidas, ou outros tecidos tensos, permitindo mudanças progressivas na posição articular. As ortóteses estáticas seriais, são utilizadas durante um determinado período de tempo, sendo remodeladas posteriormente, para provocar alterações no movimento ou posicionamento da articulação [30].

Quando se faz uma terapêutica associada à utilização de ortóteses, é importante considerar o processo de cicatrização dos tecidos moles e dos tecidos ósseos. As ortóteses para imobilização, são utilizadas na fase inflamatória, uma vez que os tecidos devem estar em repouso. Durante a fase proliferativa, verifica-se que a resistência à tração dos tecidos lesados, aumenta e, portanto, as ortóteses nesta fase protegem os tecidos moles, restringindo o movimento articular em certas direções e permitindo movimento noutras.

Na fase de maturação, há um maior incentivo ao movimento e aqui as ortóteses podem auxiliar em limitações do movimento articular. As ortóteses dinâmicas são introduzidas nesta fase [30].

2.4.4 Métodos de fabrico

A criação de uma ortótese é um processo que envolve conhecimentos profundos em várias áreas, nomeadamente: física, biomecânica, anatomia, cicatrização de tecidos, propriedades dos materiais e a reabilitação pretendida [35].

Relativamente ao membro superior, a sua anatomia e biomecânica diferem bastante dos outros segmentos do corpo. Como é um segmento dinâmico, que envolve movimentos coordenados complexos, a criação de ortóteses do membro superior é bastante desafiante [33].

Atualmente, a maioria dos dispositivos de reabilitação são criados à mão. Consequentemente, a qualidade do produto depende das habilidades e experiência de quem o cria. Existe uma grande variedade de materiais utilizados, nomeadamente gessos, resinas curáveis com água e polímeros termoplásticos [36].

Inicialmente, é necessário determinar a configuração e orientação anatómica do paciente, sendo depois capturada a forma do membro pretendido. São feitas marcações nos locais específicos onde serão feitas as modificações corretivas.

Em situações em que o uso da ortótese é de curta duração ou requer uma adaptação imediata, são utilizados **Termoplásticos de Baixa Temperatura (do inglês, Low-Temperature Thermoplastics) (LTTP)**. Os LTTP são normalmente formados usando um banho-maria até atingirem temperaturas de transição entre os 45º e os 70º. Isto permite que o material seja moldado diretamente no paciente. Os tempos de criação da ortótese, também são mais rápidos, contrariamente ao que se verifica com outros termoplásticos. [33]. As desvantagens dos LTTP são o facto de terem propriedades mecânicas mais fracas, que, aquando situações em que há tensões elevadas, pode ocorrer a rutura do material [36].

São também cada vez mais utilizadas tecnologias de prototipagem rápida para o fabrico de ortóteses (Figura 2.14). Estas tecnologias, permitem criar dispositivos, que se adequam a geometrias complexas com uma elevada precisão. Além disso, são fabricados com uma elevada eficiência, em termos de custo e tempo de fabrico, que é mais reduzido [36].

Outro fator importante, é que as ortóteses são feitas de forma personalizada para cada doente, o que é crucial na reabilitação, uma vez que diminui o desuso [37], pelo aumento do conforto.

Este processo de fabrico, permite uma redução do desperdício do material utilizado, não existem moldes ou ferramentas extra, não há praticamente erros de produção e não há porosidade residual nas peças finais [38].

O processo começa com a aquisição da morfologia do indivíduo, através de digitalização em 3D. Seguidamente, é utilizado **Desenho Assistido por Computador (do inglês,**

Computed Aided Design) (CAD) e a funcionalidade é estudada através de testes com vários materiais. Finalmente, o desenho é exportado para uma máquina de manufatura aditiva, onde o protótipo é criado.

A construção de modelos 3D surgiu na década de 1980, através da técnica de estereolitografia, baseada na cura de resina fotopolimérica, em camadas finas com laser. Assim surgiu a *Tecnologia de Manufatura Aditiva* (do inglês, *Additive Manufacturing Technology* (AMT) [36].

Além da técnica de estereolitografia, foram surgindo mais técnicas de AMT como: *Modelagem de Deposição Fundida* (do inglês, *Fused Deposition Modeling*) (FDM), *Fabricação de Objetos Laminados* (do inglês, *Laminated Object Manufacturing*) (LOM), *Sinterização a Laser Seletiva* (do inglês, *Selective Laser Sintering*) (SLS), impressão 3D e prototipagem rápida variável, entre outros [36].

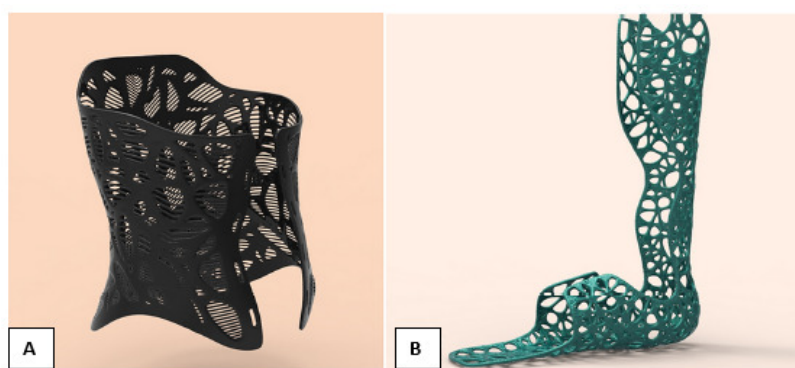


Figura 2.14: Ortóteses fabricadas através de AMT: A - Ortótese de tronco, B - Ortótese de tornozelo e pé. Adaptado de [36].

Os processos de manufatura aditiva, variam bastante de acordo com o material utilizado e apenas algumas podem ser utilizadas na indústria próstética [39]. Caso o material seja líquido, os processos utilizados são a estereolitografia, cura em base sólida, cura por luz UV e a fabricação por partículas balísticas.

Se for um material sólido, existe a LOM e a FDM. Caso o material seja em pó, existe, por exemplo, a SLS. A FDM e a SLS são das metodologias mais utilizadas para o fabrico de ortóteses [36].

2.5 Efeitos adversos na utilização de Ortóteses

Quando se utilizam ortóteses há dois conceitos importantes a considerar: stress prolongado de baixa carga e tempo total de alcance final [30].

O stress prolongado de baixa carga, está relacionado com pequenas quantidades de tensão, exercida pela ortótese durante longos períodos de tempo. Caso a ortótese exerça uma grande quantidade de pressão, isto pode levar ao aparecimento de uma reação inflamatória. Por outro lado, se a pressão exercida for insuficiente, isto pode resultar numa ausência de remodelação tecidual [30].

O tempo total de alcance final, refere-se ao tempo total de utilização de uma ortótese para mobilização, de forma a aumentar a amplitude do movimento de uma articulação [30].

Como as ortóteses devem ser usadas durante um longo período de tempo, a pressão de contacto excessiva, leva a que as pessoas sintam desconforto, podendo aparecer feridas ou úlceras de pressão [40].

O aparecimento de úlceras de pressão pode ocorrer por várias razões: os dispositivos não se ajustam adequadamente ao segmento do corpo, os materiais utilizados serem rígidos, não sendo compatíveis com a biomecânica da pele e indicações erradas por parte dos especialistas, relativamente à utilização. Pode existir também, intolerância dos tecidos do próprio doente, devido à idade, problemas neuromusculares, entre outros [41].

A utilização de materiais macios, embora possa aliviar os doentes diminui a eficácia da ortótese [42]. Assim, sem um conhecimento objetivo da distribuição da pressão, é muito difícil para os terapeutas fazerem os ajustes mais corretos.

Tendo isto em consideração, é importante determinar quais são as áreas anatómicas mais vulneráveis a pressões mais elevadas.

Embora normalmente as zonas de proeminências ósseas, sejam as zonas em que há maior desconforto e aparecimento de úlceras de pressão, um estudo de Tan *et al.* [43], mostra que os tecidos moles também podem ser afetados. Neste estudo, foram identificados pontos de pressão no membro superior, com a utilização de ortóteses de punho com estabilização do polegar e sem.

No caso da ortótese sem estabilização do polegar, foram identificados 3 pontos críticos de pressão: no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi*, na extremidade distal da ulna e na extremidade distal do rádio, próximo da tabaqueira anatómica [44].

Relativamente à temperatura, sabe-se que, caso haja um contacto repetitivo numa determinada zona, isto pode levar ao aparecimento de uma resposta inflamatória nessa zona. O aumento da temperatura no local é um dos indicadores de que há uma resposta inflamatória. Os outros indicadores são vermelhidão, perda de função, edema e dor [45].

A temperatura corporal, varia com a geometria e a grande heterogeneidade existente no interior do corpo. Os diferentes perfis de temperatura do corpo são influenciados pela densidade dos tecidos, a condutividade, o fluxo sanguíneo e a produção metabólica de calor pelos diferentes órgãos [46]. Relativamente à temperatura do membro superior, a temperatura dos dedos pode variar entre 21 °C e os 35,9 °C, já a temperatura dos braços, pode variar entre 27,6 °C e 35,9 °C em ambientes com 20 °C e 33 °C respetivamente [47].

ESTADO DE ARTE

Este capítulo descreve a importância da monitorização do uso de ortóteses, focando, em detalhe, nos métodos utilizados para fazer essa monitorização. São apresentados os métodos mais convencionais, utilizados em ambiente hospitalar (Secção 3.1), e os métodos quantitativos (Secção 3.2) que permitem monitorizar objetivamente, não só o tempo de uso (adesão) da ortótese, mas também a pressão e/ou a temperatura associadas à sua utilização. Por último, apresentam-se de forma resumida, na Secção 3.4, alguns testes de usabilidade utilizados em contexto clínico.

3.1 Monitorização do uso de ortóteses convencional

A monitorização do uso de ortóteses (adesão) em contexto clínico é tradicionalmente avaliada através de entrevistas ao doente, registos do doente, questionários, ou pela observação do desgaste do dispositivo usado. Estes métodos, são subjetivos e carecem de sensibilidade, aumentando o risco de enviesamento e ausência de dados. O doente pode não admitir, caso não tenha utilizado a ortótese [48].

Assim, verifica-se que uma monitorização precisa e confiável da adesão torna-se mais difícil, quando requer o envolvimento dos doentes e sem a supervisão direta dos profissionais de saúde. A utilização de dispositivos prescritos, com protocolos de tratamento a seguir em casa, como é o caso das ortóteses removíveis é um exemplo da necessidade de tornar a monitorização objetiva. Assim, é fundamental diminuir a dependência da cooperação do doente [48, 49].

Aumentar a adesão do doente é de igual modo importante, uma vez que um tratamento é tanto mais eficaz quanto maior a cooperação do doente às recomendações dos profissionais de saúde [49]. A usabilidade de uma ortótese depende dos benefícios e/ou malefícios identificados pelo utilizador (desconforto, constrangimento, etc.), e a alta taxa de abandono de ortóteses, poderia ser reduzida se a monitorização fosse mais precisa [50]. A determinação da eficácia do tratamento, também beneficia de uma monitorização da adesão mais objetiva [49].

Além da adesão, outros parâmetros são avaliados através de questionários, nomeadamente características intrínsecas à ortótese (peso, dimensão, durabilidade, etc.) e a percepção do paciente relativamente ao conforto ou desconforto sentido durante a utilização [50].

3.2 Monitorização quantitativa do uso de ortóteses

Como referido anteriormente, o método convencional é altamente subjetivo prejudicando tanto os doentes, como o trabalho dos profissionais de saúde. Assim, a monitorização quantitativa é muito importante para melhorar e otimizar os processos de reabilitação. Além da adesão, também é importante identificar pontos de pressão mais suscetíveis a lesões, detetar precocemente reações inflamatórias e deixar o doente o mais confortável possível enquanto utiliza uma ortótese.

Estudos mostram que a utilização de tecnologias *wearable* em contexto médico melhoram a adesão dos doentes aos planos de reabilitação [51]. Os avanços tecnológicos têm permitido o desenvolvimento de sensores que podem ser colocados em qualquer ortótese, permitindo recolher dados em tempo real e mantendo a segurança e o conforto dos doentes [52].

Foram realizados diversos estudos em que se procurou medir valores de pressão e temperatura em conjunto [53, 54], ou apenas um destes parâmetros [6, 55–59] através de sensores *wearable*.

Atualmente, existem poucas soluções disponíveis no mercado, que utilizam sensores de temperatura para monitorizar a adesão dos doentes. Alguns sensores que o permitem são o iButton®, o Orthotimer® e o stTracker® (Figura 3.1).



Figura 3.1: Dispositivos de monitorização da adesão através de sensores de temperatura. A: iButton®. Adaptado de [60]. B: Orthotimer®. Adaptado de [61]. C: stTracker®. Adaptado de [62].

O Orthotimer® foi utilizado num estudo de H.B. Menz e D.R. Bonanno [55] em 2021, de forma a monitorizar a adesão a ortóteses dos pés. Além disso, foi também avaliada a influência da temperatura ambiente no sensor, assim como da realização de exercício físico. Os participantes do estudo colocaram o *Orthotimer*® na região proximal do arco longitudinal da ortótese, e além disso utilizaram um *smartwatch*, para monitorizar a atividade física e um registador de temperatura ambiente.

De acordo com os autores do estudo, este tipo de aplicação poderá ser usada em contexto clínico, na deteção e monitorização da neuroartropatia de *Charcot*, e, embora a

disposição do sensor não seja adequada para prever ulceração do pé diabético, pode ter um papel importante na avaliação da adesão, quando se procura retirar pressão do pé diabético.

B. Benish *et al.* [6] em 2012, realizaram um trabalho em que colocaram numa ortótese para escoliose idiopática, sensores que medem o tempo e a temperatura em simultâneo (Figura 3.2). Esta patologia, provoca uma deformação tridimensional na coluna vertebral, que afeta ente 1% a 3% das crianças entre os 10 e os 16 anos [63].



Figura 3.2: Três sensores que medem a temperatura e o tempo e que foram incorporados numa almofada, que podia ser lombar, torácica, trocantérica ou de cintura, de uma ortótese toracolombosacral. Adaptado de [6].

Foi desenvolvido também um algoritmo, que através das diferenças na temperatura, consegue detetar se a ortótese está a ser utilizada. Os resultados do algoritmo foram comparados com registos dos utilizadores. Determinaram se o indivíduo tinha a ortótese colocada ou não, (Figura 3.3) através do ponto médio entre as temperaturas frias e quentes que serviu de *threshold*.

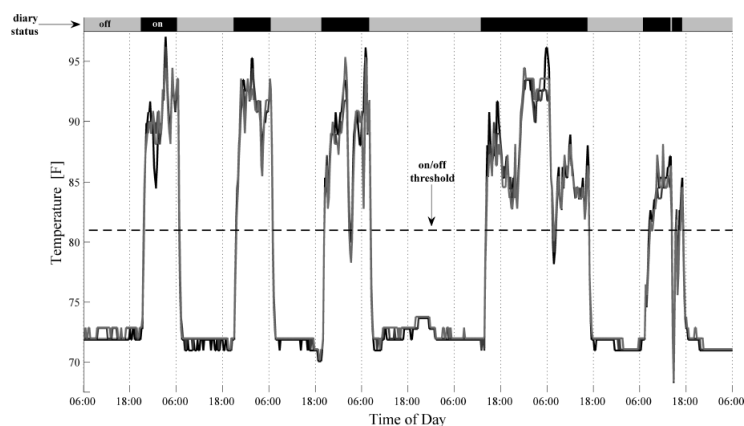


Figura 3.3: Dados obtidos para a utilização da ortótese toracolombosacral, em que as cores preto, cinza escuro e cinza claro representam diferentes registos de temperatura pelos 3 sensores. O aquecimento e o arrefecimento ocorrem de uma forma rápida e verifica-se que há várias remoções da ortótese ao longo da semana, mas apenas uma terá sido registada pelo utilizador. Retirado de [6].

A precisão do algoritmo, em aferir corretamente da colocação da ortótese, foi de 92% e em determinar o tempo de colocação foi de 98,5%. Isto deve-se a um atraso temporal entre aquecimento e arrefecimento, resultado do isolamento proporcionado pelo tecido, que cobre os sensores, e às características do sensor. Como existia uma simetria neste atraso, a estimativa do tempo de utilização não foi afetada. Assim, é possível de forma bastante precisa, determinar se o indivíduo com escoliose está ou não a utilizar a ortótese.

Infelizmente, tanto o Orthotimer® como o stTracker® são fabricados para serem utilizados em ortóteses destinadas ao tratamento de escoliose idiopática, e, portanto, não servem para ortóteses do membro superior.

Embora a temperatura permita determinar se o indivíduo está a utilizar a ortótese, não consegue quantificar o quão bem está colocada, ou seja, se está muito apertada ou pouco. Já a medição da pressão permite ultrapassar esta lacuna [53].

Em alguns estudos, fez-se a medição de valores de pressão, como é o caso de um estudo de M.D. Nowak *et al.* [59], cujo objetivo era avaliar a pressão de contacto de uma ortótese de pé e tornozelo.

Noutros estudos, como o de C. Zhu *et al.* [64] utilizaram sensores de força. Neste estudo, feito em 2021 foi desenvolvido um sistema que inclui: um registador de dados com um sensor de força, a aplicação *WeChat*, um sistema de armazenamento baseado em *Cloud* e um *website*. O tempo de utilização definido, foi calculado fazendo o quociente entre o tempo em que a força era superior a 0 e o tempo prescrito. A qualidade de utilização, foi definida pelo quociente entre a força medida e a força de baseline. Os utilizadores faziam o upload dos dados uma vez por dia e os médicos analisavam esses dados e davam *feedback*.

No entanto, apenas medindo a pressão não se distingue um indivíduo que está a utilizar a ortótese muito pouco apertada, de um indivíduo que não a tem colocada [53]. Assim, medindo ambos os parâmetros (pressão e temperatura), conseguem-se colmatar as lacunas que existem, medindo apenas um dos parâmetros.

A. Mao *et al.* [54] em 2018, desenvolveram um trabalho que envolve um sistema *wearable* para detetar a pressão e a temperatura, numa ortótese para o pé diabético. Foi utilizado um Arduino® Nano como microcontrolador, 2 sensores de força FSR402 e 4 sensores de temperatura LM35DZ.

Os dados recolhidos eram enviados para o computador via *Bluetooth*, os componentes foram colocados numa placa impressa e os sensores foram fixos na ortótese. Caso os valores medidos, excedessem uma diferença de força de 3,38 N e uma diferença de temperatura de 2,2 °C acendia-se um LED na placa e um aviso era emitido para o utilizador. A interface entre o utilizador e o microcontrolador era o *LabVIEW*. Esta abordagem permite identificar infeções a tempo, reduzindo o risco de úlceras e melhorando a recuperação dos doentes diabéticos.

Num trabalho desenvolvido por E. Chalmers *et al.* [53] em 2015, cujo objetivo era avaliar um dispositivo que incluía tanto um sensor de temperatura, como um sensor de

pressão, numa ortótese para escoliose idiopática, verificou-se que os resultados obtidos para ambos eram bastante díspares, como se pode ver na Figura 3.4.

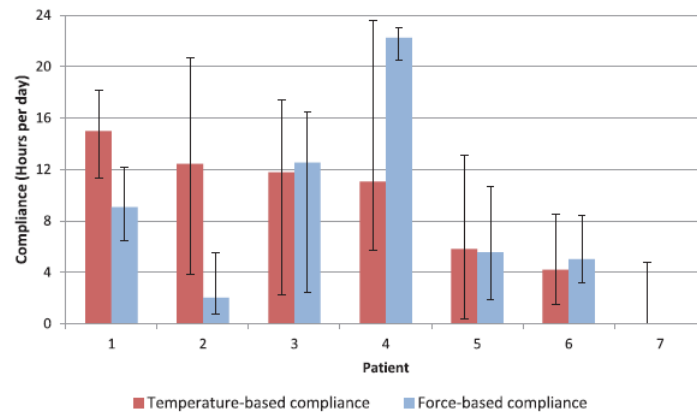


Figura 3.4: Estimativas da utilização diária da ortótese com base nos dados obtidos de força e temperatura médias para cada paciente. Os pacientes 1, 2, 4 e 7 mostram falta de conformidade entre os dados de temperatura e de força. Retirado de [53].

Isto pode dever-se a uma colocação da ortótese incorreta, uma vez que os pacientes utilizam normalmente as ortóteses com uma força entre 38% a 79% da força prescrita. [65] Os pacientes 3, 5 e 6 apresentam resultados congruentes de medições de força e temperatura, o que sugere uma utilização mais apropriada da ortótese. Nos pacientes 1 e 2 há uma discrepância nos resultados, por um lado, de acordo com as estimativas de temperatura, a ortótese foi utilizada com frequência, por outro lado, as estimativas de força mostram que estava demasiado larga. O paciente 7 tem valores muito baixos de pressão e temperatura, admitindo não ter utilizado a ortótese.

Assim, verifica-se que a maioria dos estudos em que se utilizam sensores de pressão ou de força, se focam em ortóteses aplicadas ao membro inferior e ao tronco [59, 64, 65]. Também se verifica, que são avaliados apenas alguns pontos do segmento corporal, em vez de existir uma avaliação de áreas anatómicas maiores [66].

Verifica-se igualmente, que a maioria dos estudos se foca na medição de forças normais e não de cisalhamento, embora as de cisalhamento sejam as responsáveis por 40% do desenvolvimento de úlceras de pressão [66].

Relativamente a estudos no membro superior, existe um estudo recente, que teve como objetivo, determinar a pressão de contacto com a utilização de uma ortótese estática.

Nesse estudo realizado por Tan *et al.* em 2020 [43] desenvolveu-se uma ortótese de pulso e mão, com 12 sensores de pressão piezoresistivos, incorporados em determinadas zonas (Tabela 3.1). As especificações do design mais adequado, foram obtidas através de um modelo de elementos finitos, para simular a pressão de contacto da mão de uma pessoa saudável. Foram recolhidos dados na mão durante 28,5 minutos, para quantificar a pressão exercida pela ortótese, nos diferentes pontos de colocação dos sensores.

Verifica-se através da Figura 3.5 que apenas em 8 dos 12 sensores foi detetada pressão, começando numa pressão de 0,012 MPa no sensor 5 (zona do cume da eminência tenar) e

atingindo um máximo de 0,046 MPa no sensor 4 (zona da articulação metacarpofalângica do polegar).

As zonas com maior proeminência óssea (1, 4, 6 e 8) apresentaram uma maior pressão que as restantes, o que era expectável, tendo em conta os resultados da simulação pelo modelo de elementos finitos. Na zona do sensor 5 e do sensor 7 verificou-se valores máximos de pressão acima de 0,02 MPa o que pode provocar desconforto. No entanto, como não são zonas de proeminência óssea, podem ser locais negligenciados pelo terapeuta, o que seria evitado com este dispositivo.

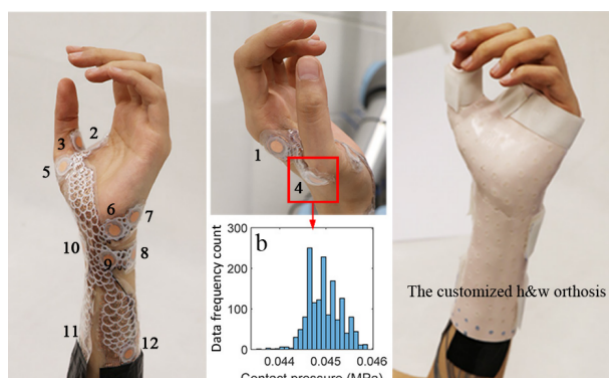


Figura 3.5: O conjunto de sensores foi colocado no membro superior do indivíduo e a ortótese foi usada durante 28,5 minutos. Os dados dos 12 sensores são referentes a 25,5 minuto. A pressão foi detectado em 8 dos 12 sensores. Em (b) está representado o histograma para o sensor 4. Retirado de [43].

Na continuação do estudo anterior, devido à necessidade de determinar quais os limites de pressão associados a determinados pontos de contacto, Tan *et al.* [44] em 2021, realizaram um trabalho em que utilizaram o conjunto de sensores de pressão em duas ortóteses de mão diferentes: uma ortótese de mão sem estabilização do polegar (Figura 3.6) e uma ortótese com estabilização do polegar. A percepção de desconforto da população estudada também foi medida usando uma escala.

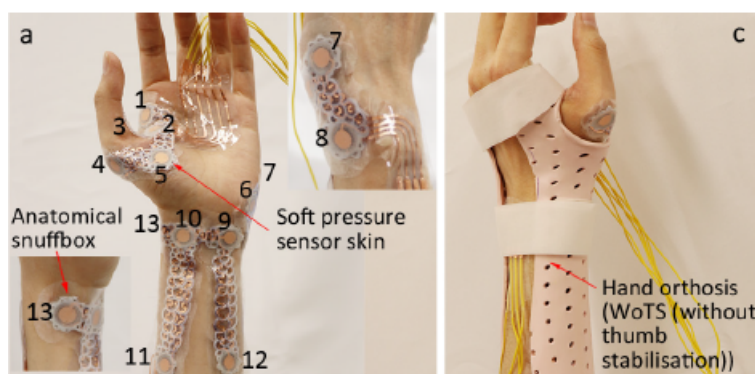


Figura 3.6: Em (a) está representado o conjunto de sensores e a localização específica da colocação. Em (c) está representada a ortótese de mão sem estabilização do polegar. Retirado de [44].

Tabela 3.1: Regiões anatômicas onde os sensores foram colocados. Cada número equivale aos números apresentados nas imagens da Figura 3.5 e da Figura 3.6.

Número	Região Anatômica
1	No lado radial da segunda articulação metacarpofalângica
2	No espaço entre o dedo indicador e o polegar
3	No lado da palma da falange proximal do polegar
4	Na articulação metacarpofalângica do polegar
5	No cume da eminência tenar
6	No osso pisiforme
7	No ponto mais proeminente do abductor <i>digiti minimi</i>
8	Na extremidade distal da ulna
9	Na lado da palma do antebraço distal
10	Na proeminência do tendão flexor radial do carpo
11	Na extremidade proximal da ortótese (perto do rádio)
12	Na extremidade proximal da ortótese (perto da ulna)
13	Na extremidade distal do rádio e próximo à tabaqueira anatômica

Foi pedido aos indivíduos que mantivessem a mão parada durante 15 minutos e após 10 minutos avaliassem o desconforto que sentissem. A análise dos dados foi feita utilizando a técnica de Análise de Componentes Principais para perceber a influência do tipo de ortótese e os dados de pressão e do desconforto sentido, foram comparados, tendo sido identificados cinco pontos onde a pressão era elevada. Para definir um *threshold* de pressão, um percentil correspondente a um *score* de desconforto leve foi calculado como 0,024 MPa. Estatisticamente, este percentil é o limite mais baixo do intervalo interquartil, que vai de 25% a 75% representando a maior parte dos dados, e também foi usado no estudo [67] para definir um intervalo seguro de diferentes ângulos do pulso na Síndrome do Túnel Cárpico.

Assim, locais com valor mediano de pressão acima de 0,024 MPa, foram considerados como pontos de contacto com magnitude de alta pressão. Para indivíduos a utilizar ortótese com estabilização do polegar, os pontos com maior pressão foram na articulação metacarpofalângica do polegar, no pisiforme, no abductor *digiti minimi* e na extremidade distal da ulna. Para indivíduos com ortótese sem estabilização além das três últimas zonas referidas, também foi considerada a extremidade distal do rádio. Verificou-se que as zonas dos tecidos moles apresentavam pressão mais baixa.

Embora tenha sido obtida uma correlação positiva entre as medidas objetivas e subjetivas, a sensibilidade à pressão de contacto pode variar para as diferentes localizações do membro superior e, portanto, fizeram-se rácios entre o *score* do desconforto e a pressão medida.

Para determinar os 5 pontos de pressão crítica, considerou-se o *score* de desconforto com valor médio superior a 1 juntamente com a pressão de contacto de valor mediano superior a 0,024 MPa. Os pontos identificados em ambas as ortóteses foram o 7, 8 e 13 e para indivíduos com a estabilização do polegar também o ponto 3 e o 4. Uma vez que é impossível evitar desconforto na totalidade quando se utiliza uma ortótese estática, procura-se evitar o desconforto moderado e alto (*score* > 3).

Uma rede neuronal foi treinada para prever em cada ponto de pressão crítica, a pressão de contacto consoante o tipo de ortótese, o género, a altura, o peso, o *score* de desconforto e os valores medidos de pressão. A zona de pressão limite mais baixa foi detetada na zona 3 (0,02 MPa) e, portanto, de todos os pontos críticos é a zona com maior sensibilidade a pressão de contacto, e a zona de pressão limite mais alta foi detetada na zona 4 (0,04 MPa), demonstrando coerência com o rácio medido. Esta previsão constitui uma ferramenta muito útil em contexto clínico, uma vez que permite aos médicos fazer os ajustes necessários sem o *feedback* subjetivo dos doentes, evitando situações de pressão de contacto excessiva.

3.3 Apresentação do Ortho-Monitorizer

Nesta secção, apresenta-se o Ortho-Monitorizer. Na primeira subsecção (3.3.1), é feita a contextualização, na segunda subsecção (3.3.2) é apresentado o dispositivo Ortho-Monitorizer e na terceira subsecção (3.3.3) são apresentados os desenvolvimentos da aplicação para Android. Tudo isto referente à dissertação antecedente a esta [1]. As novas implementações, realizadas na presente dissertação são apresentadas no Capítulo (6).

3.3.1 Contextualização

A pressão de contacto excessiva quando se usam ortóteses, como referido anteriormente, pode levar a desconforto e ao aparecimento de úlceras de contacto. Consequentemente, os doentes deixem de as usar, diminuindo a eficácia da reabilitação [43]. A monitorização convencional dos doentes nestas situações, também é feita de uma forma subjetiva e através de registos em papel. Assim, existe a necessidade de desenvolver ferramentas capazes de monitorizar a adesão do doente e a pressão de contacto quantitativamente.

Tendo isto em consideração, na dissertação anterior [1], foi desenvolvido o Ortho-Monitorizer com a colaboração do serviço de Medicina Física e Reabilitação do Hospital Curry Cabral – Centro Hospitalar de Lisboa Central.

O seu principal objetivo é permitir uma monitorização objetiva, da adesão do paciente à ortótese (o tempo de utilização), e dos valores de temperatura e pressão quando o paciente a está a utilizar.

3.3.2 Desenvolvimentos Iniciais - Dispositivo

Os requisitos que foram tidos em conta para o desenvolvimento do dispositivo foram:

- O dispositivo ser leve e compacto;
- O dispositivo ser portátil e com transmissão de dados sem fios e em tempo real;
- O dispositivo ser de baixo consumo;
- A utilização de sensores flexíveis e de pequenas dimensões;

Para a construção do dispositivo portátil, foi necessário escolher uma plataforma de prototipagem, sensores de pressão, sensores de temperatura e uma tecnologia de comunicação wireless. A plataforma de prototipagem escolhida foi o Arduino® Uno R3. Isto deveu-se ao facto de ser de baixo custo, permitir que a fonte de alimentação fosse um *power bank* e ser de rápida aquisição.

O Arduino® Uno é uma placa microcontroladora baseada no ATmega328P. A comunicação com outros dispositivos, é feita através das portas TX e RX sendo a porta TX responsável pela transmissão e a RX pela receção. Possui um [Conversor Analógico-Digital \(do inglês, Analog to Digital Converter \(ADC\)\)](#) de 10 bits, permitindo, por isso, uma resolução entre leituras de 4,9 mV [68].

Relativamente aos sensores de pressão escolhidos, estes medem apenas forças normais, uma vez que não foram encontrados sensores que medissem forças de cisalhamento à venda, nem existiam valores de referência para estas forças. O intervalo de valores considerado na seleção dos sensores foi o intervalo de 0,02 MPa a 0,078 MPa baseado no estudo de Tan *et al.* [43].

Escolheram-se sensores de filme fino, uma vez que a espessura teria de ser reduzida para não aumentar a concentração de pressão na área pretendida. Este tipo de sensores também é mais resistente a choques, são mais baratos, têm um baixo consumo de energia, são flexíveis e necessitam de circuitos de condicionamento simples [1].

Assim, foram escolhidos [Sensores de Força Resistivos \(do inglês Force Sensing Resistors \(FSR\)\)](#). Estes sensores são constituídos por duas membranas separadas por um espaço de ar, sendo que uma das membranas apresenta dois conjuntos de contactos interdigitais e a outra é revestida com uma tinta, à base de carbono, sensível à força (Figura 3.7).

A resistência do sensor é inversamente proporcional à força. Consequentemente, quando é aplicada uma força o ar entre as membranas é expelido, estas ficam em contacto na região ativa, diminuindo a resistência [1].

Após a análise de vários modelos, foram escolhidos os sensores FSR-400 da Interlink, pela gama de valores, dimensão da área ativa, menor tempo de resposta e baixo custo.

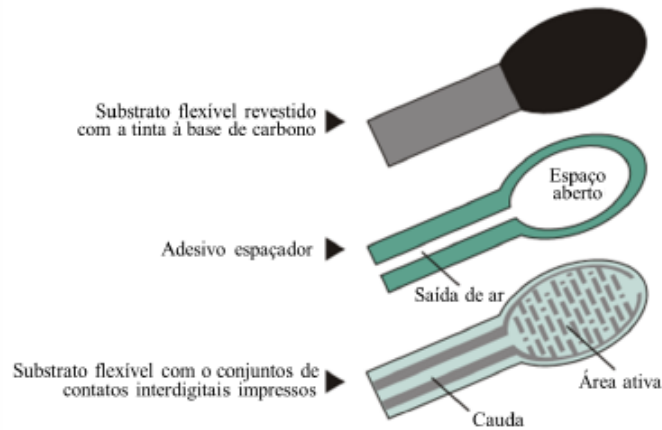


Figura 3.7: Sensor FSR. Adaptado de [1].

Sabe-se que a resposta do FSR é sensível à distribuição da força aplicada, e, portanto, distribuições de força inconsistentes diminuem a repetibilidade dos resultados. Para colmatar esta questão, o fabricante aconselha a utilização de um elastómero fino entre a zona onde a força é aplicada e o sensor, para ajudar a absorver o erro de distribuições de força inconsistentes [1].

Relativamente à resolução da pressão pretendida, verificou-se que era de 0,001 MPa considerando a gama de valores do estudo de Tan *et al.* [43]. Para a calibração dos sensores, uma vez que estes não eram pré-calibrados, foi criada uma estrutura e utilizado um suporte para a colocação de pesos, em que a sua base correspondia à área ativa do sensor. O sensor só é sensível a partir dos 10 kPa, (aproximadamente 20 gramas) portanto, a calibração partiu deste valor e foi feita até aos 150 kPa (aproximadamente 300 gramas), com incrementos de 10 gramas [1].

O sistema de equações apresentado (Equação 3.1) representa as curvas de calibração obtidas com 10 séries de medições. Para se obter o valor da pressão em MPa basta substituir o (x) pela tensão de saída obtida através da Equação 3.2, em que (V_A) representa o valor ADC lido pelo Arduino®.

$$V_{out} = \begin{cases} 0, & \text{se } x < 0,010MPa \Leftrightarrow V_{out} < 0,34V \\ 39,341x - 0,0536, & \text{se } 0,010 \leq x < 0,016MPa \Leftrightarrow 0,34V \leq V_{out} < 0,63V \\ 1,4179\ln(x) + 6,3701, & \text{se } x \geq 0,016MPa \Leftrightarrow V_{out} \geq 0,63V \end{cases} \quad (3.1)$$

$$V_{out} = \frac{5 * V_A}{1023} \quad (3.2)$$

Relativamente aos sensores de temperatura, constatou-se que a gama de valores de interesse é entre 21 °C e 36 °C. Os sensores de temperatura mais comuns como os Circuitos

integrados (do inglês, *Integrated Circuits*) (ICs), termoresistências, termopares e termístores medem valores que abrangem o intervalo pretendido. No entanto, uma vez que se pretende medir pequenas variações de temperatura, para detetar reações inflamatórias, é necessária uma boa exatidão [1]. Escolheram-se os termístores B5716K0472J000 que já estavam pré-calibrados, eram de baixo custo e tinham um tamanho adequado [1].

Após a obtenção da equação que relaciona a resistência do sensor com a temperatura, (obtida a partir dos valores tabelados na ficha técnica do fabricante) num intervalo para uma gama de entrada entre os 10 °C e os 40 °C, foi implementado um divisor de tensão seguido de um seguidor de tensão, sendo que a resolução teórica obtida foi de 0,2 °C. Foi também implementado um divisor de tensão, seguido de um circuito de amplificação de 1,5 vezes, para garantir maior segurança nos resultados obtidos [1]. Neste caso, a relação entre a tensão de saída (V_{out}) e o valor lido pelo ADC do Arduino® (V_A) é dada por:

$$V_{out} = \frac{5 * V_A}{1023 * 1.5} \quad (3.3)$$

Para obter o valor da temperatura, basta obter o valor da resistência (Equação 3.4) correspondente à tensão de saída (V_{out}) e substituir na equação apresentada no gráfico da Figura 3.8.

$$R = 47500 * \frac{5}{V_{out} - 1} \quad (3.4)$$

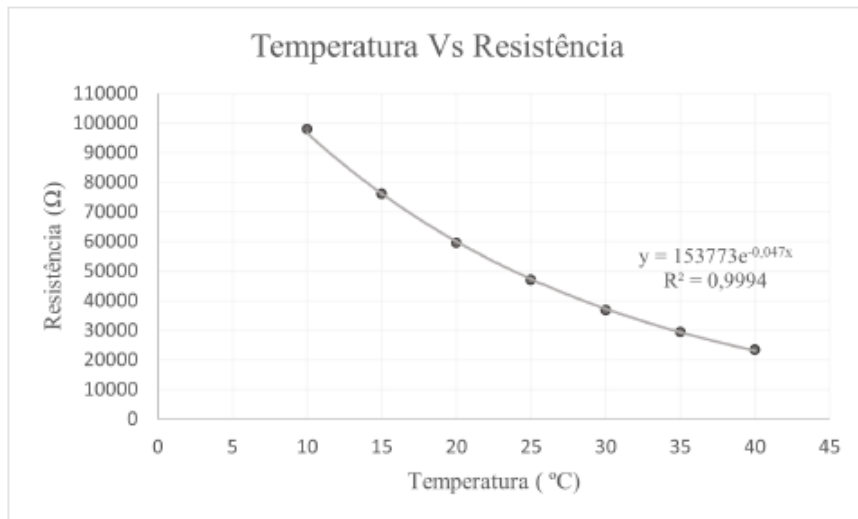


Figura 3.8: Gráfico da resistência do termístor em função da temperatura. Retirado de [1].

O *Bluetooth Low Energy* (BLE), foi escolhido para fazer a comunicação entre a aplicação do telemóvel e o dispositivo. O módulo utilizado é o 4.0 AT-09 BLE TI CC2541.

Na implementação do circuito, utilizaram-se headers com 6 pinos para facilitar o desacoplamento dos sensores. Para envolver o circuito foi também construída uma estrutura

polimérica modelada em 3D [1]. O dispositivo portátil tem dimensões 90 mm x 72 mm x 43 mm e pesa, aproximadamente, 112,5 g (Figura 3.9). O custo total foi de 95,35 euros.

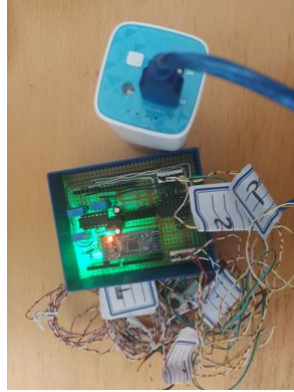


Figura 3.9: Dispositivo ligado a um *power bank*.

3.3.3 Desenvolvimentos Iniciais - Aplicação

Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizado o Android Studio, que é um ambiente de desenvolvimento integrado que permite a criação de aplicações para dispositivos Android. Este software, apresenta um editor de código inteligente, um emulador que permite fazer testes em protótipos de vários dispositivos, e oferece correções rápidas para resolver problemas de desempenho, segurança e precisão [69].

Relativamente ao design das páginas da aplicação, são utilizados ficheiros XML para trabalhar no layout em que é possível manipular com bastante facilidade os elementos da página.

O armazenamento dos dados foi feito através do *Cloud Firestore* que é um dos serviços disponibilizados pela Firebase e permite armazenar, consultar e sincronizar dados em documentos NoSQL (Figura 3.10). São criadas coleções em que cada coleção pode ter um conjunto de documentos que é caracterizado por um conjunto de campos (Figura 3.11) que podem ser de vários tipos, sendo isto feito hierárquicamente [70].

Para o sistema de autenticação foi utilizado o *Firebase Authentication*. Este serviço igualmente disponibilizado pela Google, permite desenvolver um sistema de autenticação seguro e compatível com contas de email, Google, Twitter, Facebook, GitHub e outras [71].

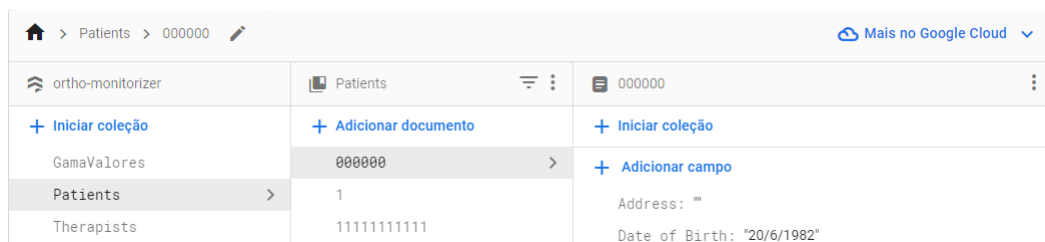


Figura 3.10: Página do *Cloud Firestore*, com diferentes coleções, documentos e respetivos campos.

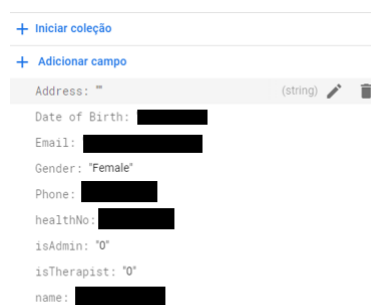


Figura 3.11: Campos de um determinado paciente.

A aplicação foi desenvolvida em linguagem Java e considerando os requisitos e sugestões dos profissionais de saúde.

Após a instalação da aplicação é necessário permitir o acesso à localização para utilizar o *Bluetooth*, caso contrário este não funciona.

Existem 3 tipos de utilizadores: terapeutas, pacientes e administradores.

A página principal da aplicação apresenta um botão para se fazer o login e um botão para um botão para se fazer o registo (Subfigura 3.12(a)). Quando se faz um registo escolhe-se o tipo do utilizador: paciente ou terapeuta (Subfigura 3.12(b)). O login é feito através de um email e de uma palavra-passe (Subfigura 3.12(c)).

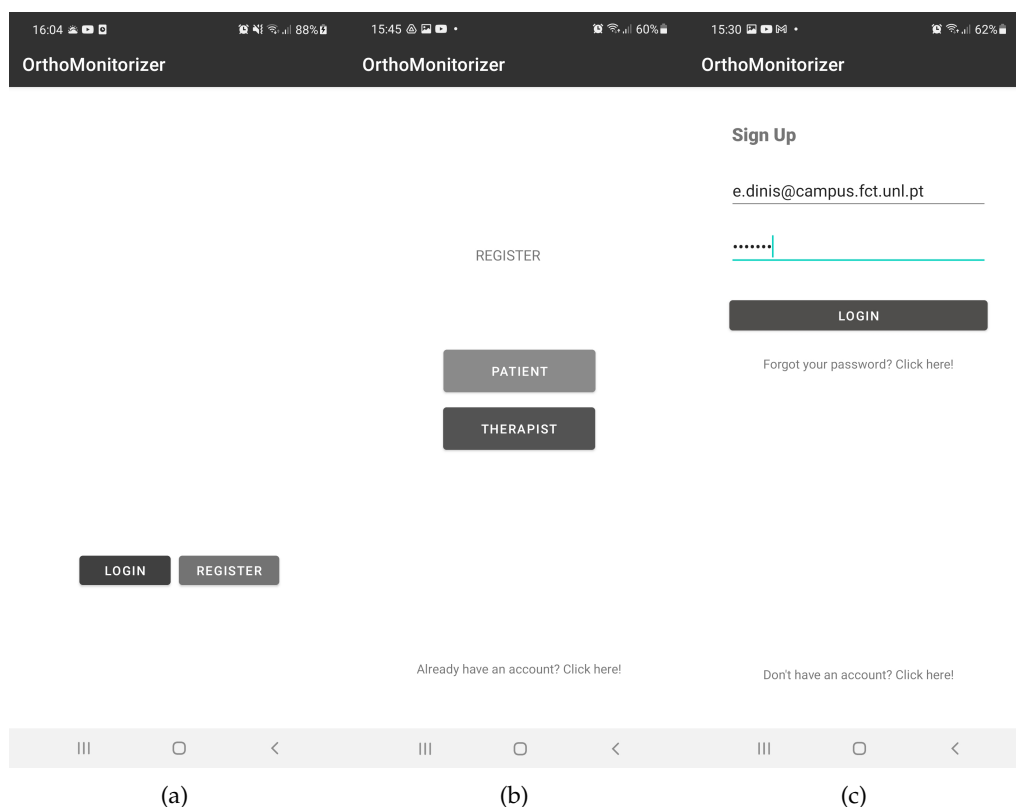


Figura 3.12: A Subfigura (a) apresenta a página principal, a Subfigura (b) apresenta a página da escolha do tipo de utilizador (paciente ou terapeuta), a Subfigura (c) apresenta a introdução das credenciais para se fazer o login.

Como paciente, aparece uma página para se colocar os dados pessoais (nome, data de nascimento, género, morada, contacto telefónico, email, número de utente, e palavra-passe) (Subfigura 3.13(a)), sendo que alguns são obrigatórios e o utilizador é alertado em caso de não preenchimento.

O registo só é possível, caso os campos de preenchimento obrigatório estejam preenchidos e a opção de autorização de recolha e tratamento de dados também estiver preenchida.

Após o registo, o utilizador recebe um email na caixa de spam com um link para ativar a sua conta. Assim que a conta estiver ativada, o paciente poderá ver e alterar os seus dados pessoais e fazer a conexão por *Bluetooth*, com o dispositivo, através do menu principal (Subfigura 3.13(b) e Subfigura 3.13(c)).

3.3. APRESENTAÇÃO DO ORTHO-MONITORIZER

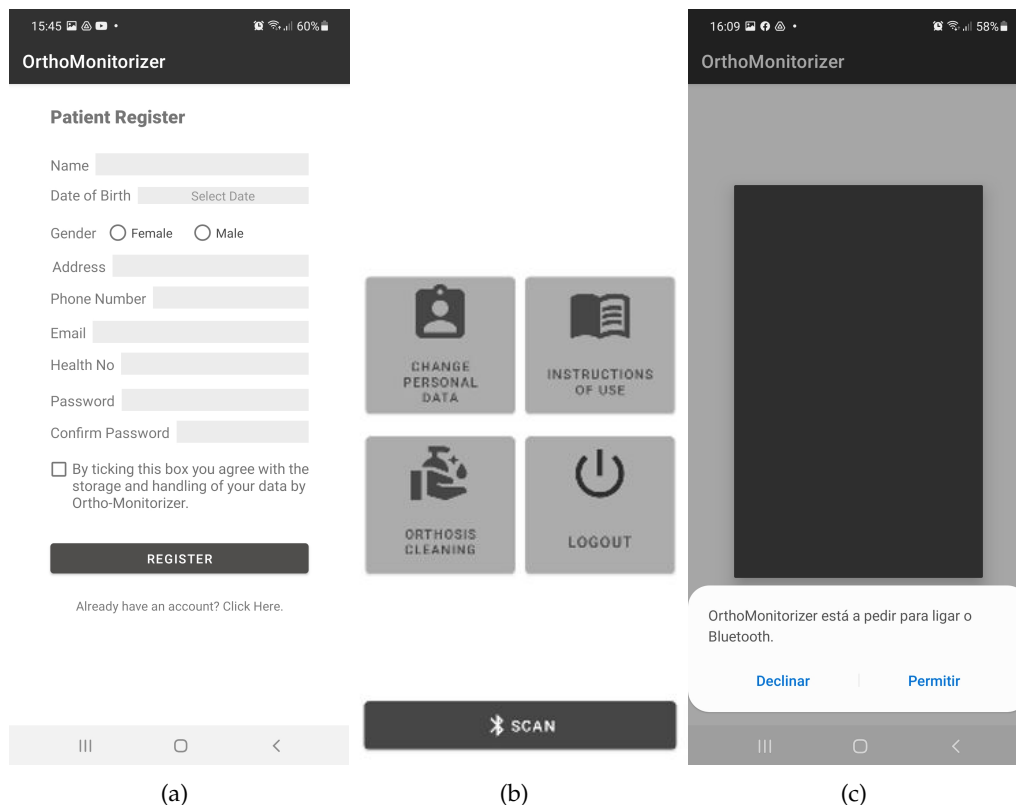


Figura 3.13: A Subfigura (a) apresenta a página de registo do paciente, a Subfigura (b) apresenta o menu principal com os botões de acesso para as páginas de alteração dos dados pessoais "Change personal data", as instruções de utilização "Instructions of use", a limpeza da ortótese "Orthosis Cleaning" e o "Logout" para sair da aplicação; A Subfigura (c) apresenta a mensagem que aparece caso o Bluetooth do telemóvel não estiver ligado.

Relativamente aos terapeutas, estes conseguem alterar os seus dados pessoais e ter acesso aos pacientes registados na aplicação, através do menu apresentado na Subfigura (3.14(a)). Quando selecionam o botão "Patients", aparece uma lista de pacientes em que é possível pesquisar por número de utente (Subfigura 3.14(b)). Com um determinado paciente selecionado, foram criados 4 botões para o terapeuta ter acesso aos dados do paciente, ao histórico das aquisições, um botão para ajustar o tempo de utilização da ortótese e outro para retroceder (Subfigura 3.14(c)). Além dos dados pessoais do paciente selecionado, é possível inserir o tipo de patologia, o tipo de ortótese, o material da ortótese e observações.

Relativamente aos administradores, estes conseguem fazer o mesmo que os terapeutas além de poderem gerir a aplicação. Assim, eles conseguem atribuir ou remover o acesso às funcionalidades (Subfigura 3.15(b)). Os administradores conseguem consultar a lista de todos os terapeutas registados na aplicação e fazer a pesquisa pelo nome ou pelo número mecanográfico. Também é possível a organização da lista de profissionais de saúde tendo em conta os seus nomes, ou o seu cargo (Subfigura 3.15(a)).

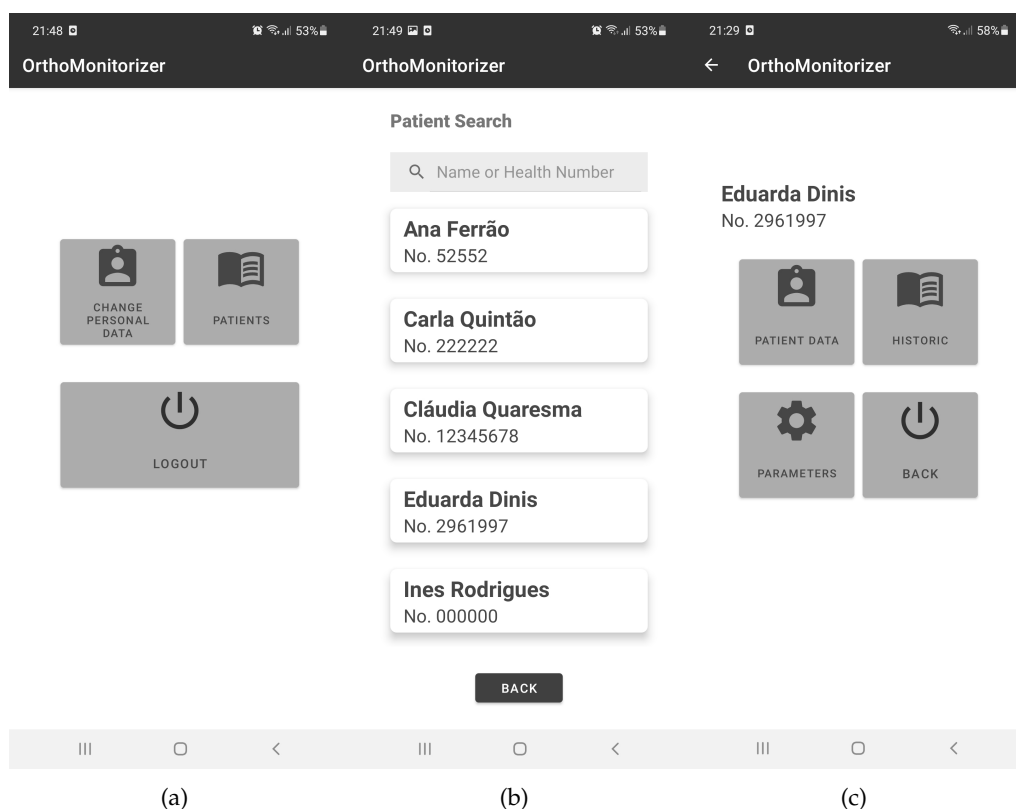


Figura 3.14: A Subfigura (a) apresenta o menu principal dos terapeutas; a Subfigura (b) apresenta a lista de pacientes; a Subfigura (c) apresenta o botão para visualizar os dados do paciente "Patient data", o histórico dos pacientes "Historic", uma página de parâmetros "Parameters" e um botão para retroceder "Back".

3.4 Testes de Usabilidade em contexto clínico

Com o desenvolvimento e implementação de tecnologias, em contexto clínico, é importante determinar, de que forma os doentes se adaptam a estas tecnologias e se gostam de as utilizar. Assim, são utilizados testes de usabilidade para contexto clínico. Com isto, pretende-se obter *feedback* relativo à experiência do utilizador, durante a utilização destas tecnologias.

Através destes testes, é possível avaliar a facilidade de utilização da interface, se é intuitiva, se o design é apelativo, e possíveis melhorias a efetuar.

Como os questionários de usabilidade podem ser bastante diferentes é importante considerar quais as métricas que se pretende avaliar, antes de se escolher um questionário. Seguidamente, apresentam-se alguns dos questionários mais utilizados em contexto clínico:

- *System Usability Scale (SUS)*: O questionário *SUS*, foi criado por John Brooke em 1986 para avaliar a usabilidade não só de serviços de hardware e software, mas também de dispositivos móveis, websites e aplicações [72]. Este é constituído por 10 afirmações, sendo que há 5 de carácter negativo e 5 de carácter positivo. Cada afirmação, apresenta

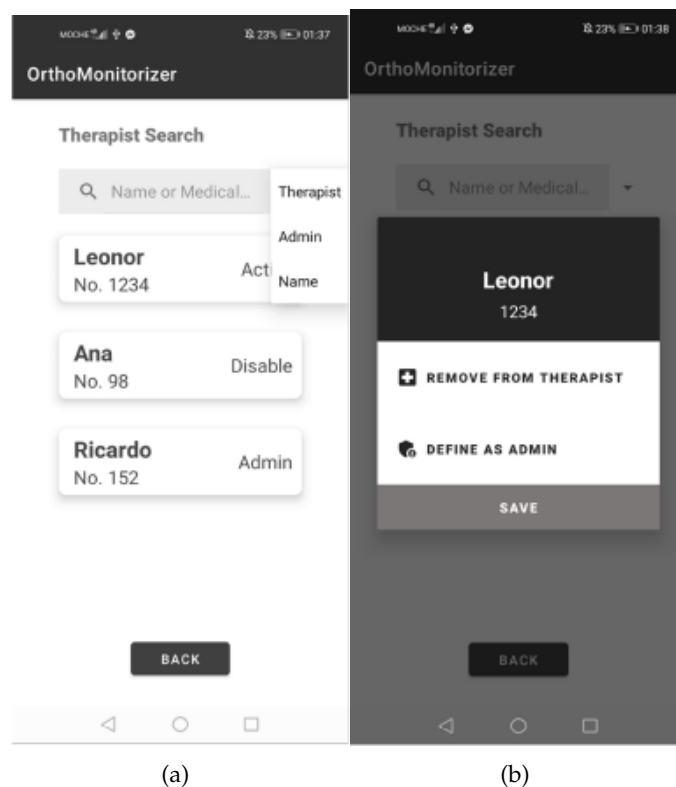


Figura 3.15: A Subfigura (a) apresenta opções de filtros; a Subfigura (b) apresenta o pop-up de atribuição de função. Retirado de [1].

opções de resposta que variam de 1 a 5, sendo que 1 corresponde a “Discordo fortemente” e 5 corresponde a “Concordo fortemente” [72].

As vantagens de utilização deste questionário, são o facto de poder ser um questionário de fácil preenchimento, podem ser utilizadas populações grandes ou pequenas e ser capaz de distinguir entre sistemas utilizáveis e sistemas não utilizáveis [72].

As regras para o cálculo do resultado dos Questionários SUS são as seguintes [73], [74]:

- Somar o score total das afirmações de carácter positivo (afirmações ímpares) e subtrair 5 a esse valor para obter X.
- Somar o score total das afirmações de carácter negativo (afirmações pares) e subtrair 25 a esse valor para obter Y.
- Somar X com Y e multiplicar por 2,5, de modo a converter a pontuação original de uma escala de 0 a 40 para uma escala de 0 a 100.

Os resultados devem ser interpretados da seguinte forma [73], [74]:

- A pontuação média é 68.
- Pontuação abaixo de 68 indica que existem problemas no design, que devem ser investigados e resolvidos.
- Se a pontuação total for inferior a 25, o sistema é considerado “Péssimo”.

- Pontuação entre 25 e 35 o sistema é considerado "Pobre".
- Pontuação entre 35 e 55 o sistema é considerado "Ok".
- Pontuação entre 55 e 85,5 o sistema é considerado "Bom".
- Para pontuações superiores a 85,5 o sistema é considerado "Excelente".

É necessário ter em atenção que a pontuação final não deve ser interpretados como uma percentagem mesmo variando de 1 a 100 [72].

- *Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS)*: Este questionário é constituído por 27 perguntas, classificadas numa escala de 1 a 9, onde os números correspondem a adjetivos.

O questionário pede que o utilizador avalie a interface em áreas como facilidade de uso, consistência, capacidade do sistema e aprendizagem. Este questionário é eficaz, mesmo quando o tamanho da amostra é pequeno, fornece dados poderosos, é de fácil compreensão e aplica-se rapidamente [75].

- *Software Usability Measurement Inventory (SUMI)*: Este questionário, é utilizado para medir a perceção do utilizador relativamente à usabilidade de um software, permitindo comparar diferentes produtos ou versões do mesmo produto. É constituído por 50 perguntas, onde é pedido ao utilizador para responder com "Concordo", "Não sei" e "Discordo". Um dos aspetos mais importantes do SUMI é que foi desenvolvida uma base de dados estandardizada que contém perfis de usabilidade para 200 tipos de aplicações diferentes. Basicamente, qualquer aplicação pode ser avaliada com o SUMI, desde que exista um imput do utilizador através de um teclado, ou rato, a visualização num ecrã, assim como imput e output entre uma memória secundária e dispositivos periféricos [76].

Nesta dissertação, foi aplicado um questionário SUS a um grupo de indivíduos sem patologias, para que estes avaliassem a usabilidade da aplicação para Android. Do conjunto de questionários apresentados acima, escolheu-se o SUS por ser bastante fácil de responder, ser de curta extensão e permitir a obtenção de bons resultados, para populações pequenas, como é o caso do grupo de participantes do estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo são apresentados os materiais e métodos para a aquisição de dados utilizando o dispositivo, e a aplicação Ortho-Monitorizer.

A aquisição de dados teve como objetivo contribuir para a criação de uma base normativa e para perceber se o dispositivo era fácil de utilizar e se os vários componentes funcionavam.

Na Secção 4.1 são apresentados os materiais utilizados para a aquisição de dados, na Secção 4.2 é apresentada a caracterização da amostra e na Secção 4.3 é apresentado o procedimento experimental.

4.1 Materiais

Este projeto foi desenvolvido em parceria com o serviço de Medicina Física e Reabilitação do Hospital Curry Cabral. Para a aquisição dos dados foram criadas ortóteses no hospital, por uma terapeuta especializada. Estas ortóteses são estáticas e específicas para a Síndrome do Túnel Cárpico (Figura 4.1). As ortóteses foram criadas através do método tradicional e utilizando um material termoplástico de baixa temperatura, o *Thurbocast® Ortho*, com uma espessura de 1,6 mm.



Figura 4.1: Fotografia de 3 das ortóteses criadas para este estudo.

A placa do material foi cortada de acordo com a forma do antebraço e mão do voluntário e de seguida foi colocada em água quente até ser moldável. Após ter amolecido, a placa foi colocada no antebraço e mão do voluntário e moldada. Foram cortados velcros para apertar a ortótese.

Para colar os sensores à pele, foi utilizado um tecido autoadesivo *Mefix*®, de 10 cm de comprimento, normalmente utilizado para fixação de pensos, cateteres e cânulas. Este tecido é hipoalergénico e permite a respiração da pele [77]. Foram cortadas várias tiras de um rolo de tecido, com aproximadamente o mesmo tamanho.

4.2 Caracterização da Amostra

Os participantes do estudo são indivíduos sem patologias do membro superior, contidos por 6 indivíduos do sexo feminino e 1 do sexo masculino.

Dos indivíduos do sexo feminino, 2 encontram-se na faixa etária entre os 20 e os 30 anos, outros 2 na faixa etária entre os 50 e os 60 anos, um outro com 40 anos e o último com 72. O indivíduo do sexo masculino tinha 76 anos.

Relativamente às habilitações literárias, 2 dos participantes têm doutoramento, 3 têm licenciatura, 1 tem o ensino primário e outro o ensino básico.

Foram criadas 4 ortóteses feitas à medida no Hospital Curry Cabral e como uma das ortóteses se ajustava bem para os restantes 3 voluntários, estes utilizaram essa mesma ortótese. As ortóteses eram todas para o membro superior esquerdo.

4.3 Procedimento Experimental

Após a criação das ortóteses por uma terapeuta especializada, do Hospital Curry Cabral, foram feitas recolhas pelos 7 voluntários.

Inicialmente, era feito o registo dos voluntários na aplicação e eram dadas instruções relativamente ao funcionamento da aplicação e de como deveriam proceder, para fazerem a aquisição dos dados.

As aquisições começavam pela identificação dos locais anatómicos onde os sensores seriam colocados. Essa identificação foi feita pela primeira vez pela terapeuta do hospital e a marcação foi feita com uma caneta. Foi tirada uma fotografia, usada como guião para as restantes aquisições.

Considerou-se como local 1, 2 e 3 a zona do ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi*, a extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica e a extremidade distal da ulna respetivamente (Figura 4.2).

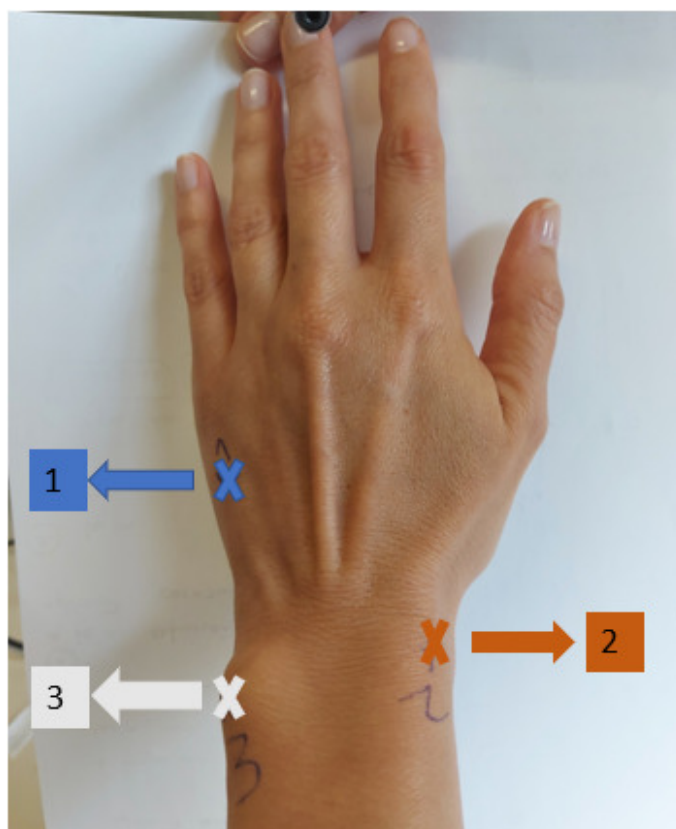


Figura 4.2: Locais anatômicos onde os sensores foram colocados, identificados na pele a caneta. (1) - Ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi*, (2) - Extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica, (3) - Extremidade distal da ulna.

Embora as técnicas utilizadas no estudo de Tan *et al.* [43] para a criação da ortótese, o procedimento experimental e os sensores sejam diferentes, este estudo é um dos poucos que apresentam pontos de pressão do membro superior e valores de referência que podem ser usados como comparação.

Assim, os locais escolhidos para a colocação dos sensores tiveram em consideração este estudo.

Após a identificação dos locais com uma caneta, primeiramente eram colados os sensores de temperatura e depois os de pressão. Cada sensor tinha colado no fio uma etiqueta com o número do local onde o sensor deveria ser colado.

Seguidamente era colocada a ortótese e os velcros eram apertados (Figura 4.3).

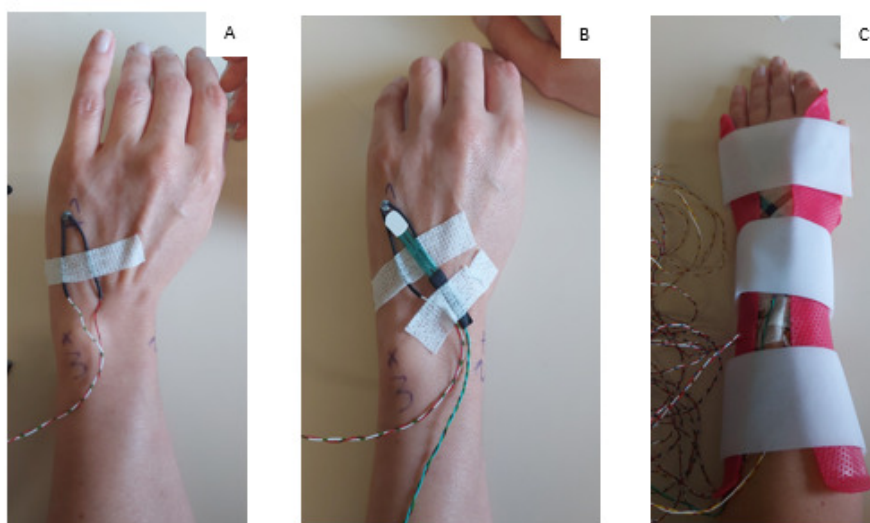


Figura 4.3: A: Colocação do sensor de temperatura referente à zona do ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1); B: Colocação do sensor de pressão referente à zona do ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1); C: Colocação da ortótese.

Foi pedido aos voluntários para estarem o máximo de tempo possível que conseguissem, a fazer aquisições e que podiam tirar os sensores e voltar a colocar, mantendo o dispositivo conectado, para perceber o comportamento dos valores obtidos.

No primeiro conjunto de aquisições, para os voluntários 1 e 2 não houve restrições de movimento e, portanto, podiam caminhar com o dispositivo ou estar sentados e movimentar o membro superior. Para os restantes voluntários (3, 4, 5, 6 e 7) foi pedido que se mantivessem sentados com o membro superior esticado, em repouso sobre uma superfície e o cotovelo apoiado.

No segundo conjunto de aquisições, foi pedido a todos os voluntários que se mantivessem sentados, com o membro superior em repouso, esticado sobre uma superfície.

APRESENTAÇÃO E DICUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo está dividido em quatro secções principais. Na primeira, (Secção 5.1) são apresentados os resultados do primeiro conjunto de aquisições de dados e os problemas encontrados.

Na segunda, (Secção 5.2) são apresentados testes que se fizeram com um dos sensores de pressão, com 3 configurações diferentes.

Na terceira, (Secção 5.3) são apresentados os resultados do segundo conjunto de aquisições. As aquisições foram feitas para criar uma base normativa e, no futuro, serão comparadas com dados recolhidos em doentes.

Na quarta, (Secção 5.4) são apresentados os resultados dos testes de usabilidade. Estes testes foram importantes para obter a opinião dos participantes, ao utilizarem o Ortho-Monitorizer e a aplicação, e perceber as lacunas existentes.

5.1 Primeiras Aquisições e Problemas Detetados

Para efeitos descritivos, considera-se os voluntários 1, 2, 3 e 4 como os voluntários que utilizaram uma ortótese feita à sua medida. Embora não se tenha construído uma ortótese individualizada para os voluntários 5, 6 e 7, estes, utilizaram a ortótese do voluntário 1, que se ajustava corretamente ao seu antebraço e mão.

Os 3 pontos de pressão considerados, como referido anteriormente no Capítulo 4, estão identificados como 1 para o ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi*, 2 para a extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica e 3 para a extremidade distal da ulna.

Estes locais foram escolhidos tendo em conta o estudo de Tan *et al.* [43], em que há uma análise de pontos de pressão críticos, utilizando uma ortótese sem estabilização do polegar que é o mesmo tipo de ortótese utilizada neste estudo.

Relativamente às primeiras recolhas, estas decorreram durante 2 meses. Estas recolhas foram realizadas durante períodos de tempo diferentes para os diferentes voluntários, mediante a disponibilidade de cada um.

Ao longo das recolhas foram detetados alguns problemas que serão descritos ao longo desta secção. Os resultados são apresentados em duas subsecções, uma relativa aos valores de temperatura e outra relativa aos valores de pressão.

Os voluntários 1, 2, 3 e 4 utilizaram a ortótese durante 2 dias consecutivos. Os voluntários 5, 6 e 7 utilizaram a ortótese apenas durante 1 dia. Para os voluntários 1 e 2 durante estas aquisições o antebraço foi mantido maioritariamente na horizontal, com o cotovelo apoiado numa mesa. No entanto, em alguns momentos foram feitos movimentos com o braço ou com a mão e os voluntários deslocaram-se em vez de permanecerem sentados. A hora exata em que estes momentos ocorreram não foi registada, mas os voluntários aperceberam-se de grandes oscilações nos valores de pressão, ao observar os valores na aplicação. Os restantes voluntários, mantiveram-se sentados, com o membro superior em extensão e com o cotovelo apoiado numa superfície. Os gráficos e tabelas que não são apresentados ao longo desta secção, encontram-se no Anexo II.

5.1.0.1 Temperatura

Relativamente aos resultados obtidos com os sensores de temperatura, verifica-se que em todos os voluntários, quando os sensores estão devidamente colocados, os valores nas 3 zonas do membro superior são bastante semelhantes.

Estes valores pertencem à gama de valores esperada para o membro superior [47] e, não há diferenças significativas entre os valores, uma vez que nunca existiram reações inflamatórias em nenhum dos voluntários.

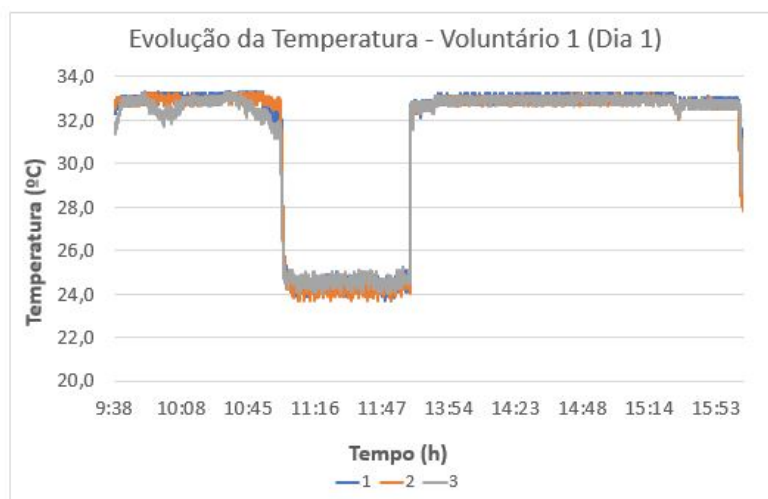


Figura 5.1: Gráfico da evolução da temperatura para o voluntário 1, no seu primeiro dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

É possível identificar facilmente quando os sensores são removidos e colocados novamente, nas aquisições em que isso ocorreu, uma vez que a temperatura começa a descer até à temperatura ambiente. O gráfico da temperatura para o voluntário 1 no seu primeiro

dia de aquisição mostra precisamente isso (Figura 5.1). Por volta das 11:04 os sensores e a ortótese foram removidos, mas o dispositivo manteve-se ligado até às 12:00.

Os valores de temperatura registados são muito próximos nos 3 pontos de pressão (Tabela 5.1). Para o período entre as 9:38 e as 11:03 a média dos valores de temperatura, encontra-se entre os 32,6 °C e os 32,9 °C. Entre as 11:04 e as 12:00, quando os sensores são removidos, os valores de temperatura são próximos da temperatura ambiente, com uma média entre os 24,3 °C e os 24,6 °C.

Tabela 5.1: Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, entre as 9:38 e as 16:03, para o voluntário 1, no seu primeiro dia de aquisições.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
9:38 - 11:03	(32,9 ± 0,3)	(32,9 ± 0,2)	(32,6 ± 0,5)
11:04 - 12:00	(24,5 ± 0,5)	(24,3 ± 0,5)	(24,6 ± 0,3)
13:37 - 16:03	(32,9 ± 0,3)	(32,9 ± 0,4)	(32,9 ± 0,3)

Para o voluntário 2 ocorreram falhas nos registos entre as 14:14 e as 15:51, entre as 15:57 e as 16:32 e entre as 16:33 e as 17:39. Isto ocorreu devido a falhas da Internet.

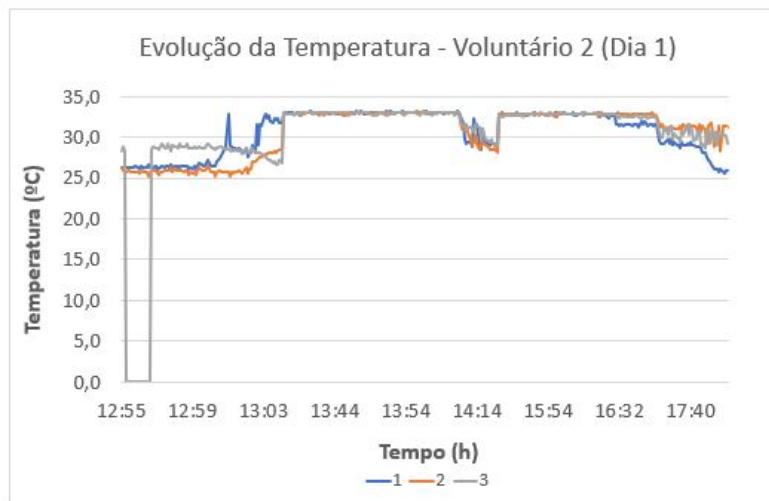


Figura 5.2: Gráfico da evolução da temperatura para o voluntário 2, no seu primeiro dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

Entre as 12:55 e as 13:19 os valores não podem ser considerados, porque estavam a ser feitos testes aos sensores e, portanto, estes não estavam colocados no membro superior. Também é possível observar que o sensor de temperatura da zona 3 não estava ligado ao dispositivo às 12:55, (a temperatura é 0 °C).

Há uma descida que vai ficando cada vez mais acentuada no final da aquisição quando os sensores são removidos (Subfigura 5.2).

Tabela 5.2: Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos para o voluntário 2, no seu primeiro dia de aquisições.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
13:44 - 14:02	(33,0 ± 0,4)	(32,9 ± 0,4)	(32,9 ± 0,3)
14:03 - 14:05	(29,7 ± 1,1)	(29,5 ± 1,1)	(30,5,0 ± 0,9)
15:51 - 17:40	(32,3 ± 0,9)	(32,7 ± 0,4)	(32,6 ± 0,5)
17:40 - 17:41	(28,0 ± 1,4)	(30,9 ± 0,9)	(30,2 ± 0,8)

Outra situação que se verificou tanto para o voluntário 1, no seu segundo dia de aquisições, como para o voluntário 4, no seu primeiro dia de aquisições, foram oscilações bastante abruptas num determinado sensor de temperatura ou em vários.

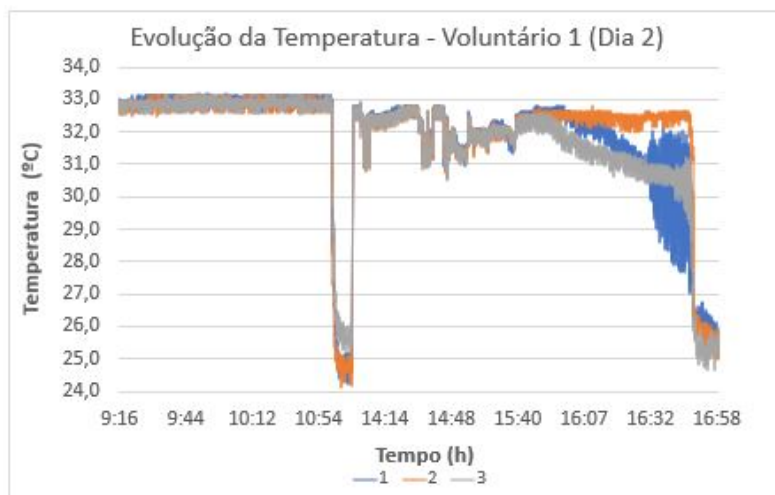
Para o voluntário 1, isto ocorreu durante o período da tarde na zona 1 entre as 16:30 e as 16:50 (Subfigura 5.3(a)). Esta variação deve-se ao facto da área ativa do sensor, se ter deslocado da pele durante este período de forma recorrente, possivelmente devido a movimentos do braço. Outra justificação, é ter ocorrido contacto entre as partes dos fios que ligam os sensores ao dispositivo, o que pode provocar alterações na tensão de saída.

Durante o início da tarde, contrariamente ao que se verifica durante o período da manhã, é que há momentos com mais oscilações da temperatura dos 3 sensores o que pode ter ocorrido igualmente, devido a movimentos do braço que deslocaram as áreas ativas dos sensores (Subfigura 5.3(a)).

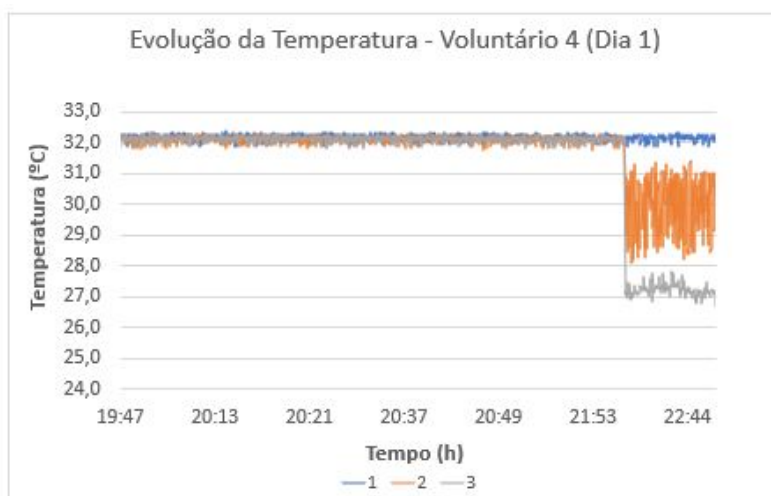
Para o voluntário 4, a média dos valores de temperatura, para cada uma das zonas é de 32,1 °C, sendo que os sensores foram removidos às 22:09.

Provavelmente, aconteceu que o sensor de temperatura 1 se manteve encostado à pele do braço do voluntário, o que explica o facto da temperatura, (na zona 1) se manter à volta dos 32 °C.

Relativamente ao comportamento do sensor de temperatura 2, deve ter havido mau contacto com a conexão do sensor, o que provocou as oscilações abruptas que se observam na Subfigura 5.3(b).



(a)

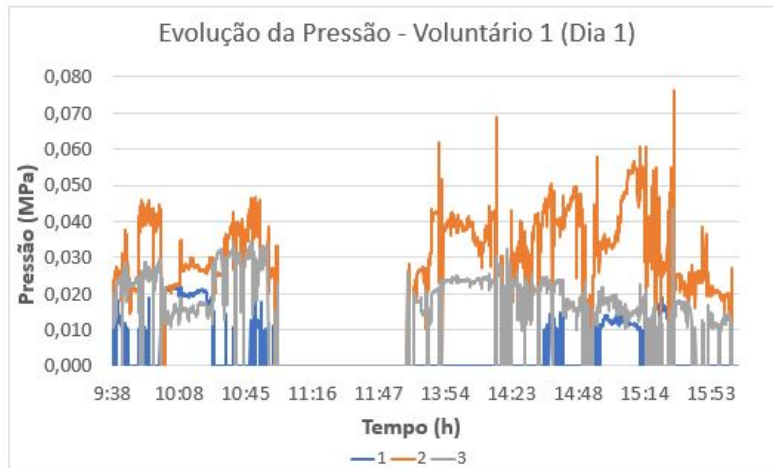


(b)

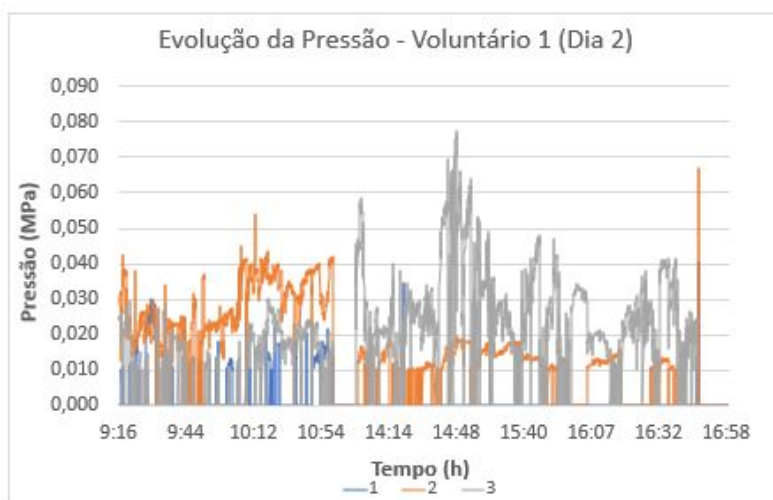
Figura 5.3: Gráficos da evolução da temperatura no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1); na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2); na extremidade distal da ulna (3) para o voluntário 1 (a) entre as 9:16 e as 16:58 no segundo dia que fez aquisições, e para o voluntário 4 (b) entre as 19:47 e as 22:44 no primeiro dia que fez aquisições.

5.1.1 Pressão

Relativamente à pressão, verifica-se que, no geral, a pressão na zona 2 é superior à pressão nas zonas 1 e 3.



(a)



(b)

Figura 5.4: Gráfico da evolução da pressão para o voluntário 1 no primeiro dia de aquisições entre as 9:38 e as 15:53 (a) e no segundo dia de aquisições (b) entre as 9:16 e as 16:58 no ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

O voluntário 1 verificou que, existindo um ligeiro movimento da mão dentro da ortótese, os valores de pressão variavam muito e por vezes desciam para 0. A descida para 0 acontecia mais facilmente na zona 1. Para este voluntário, no primeiro dia de aquisições (Subfigura 5.4(a)), no período entre as 9:38 e as 11:03, apenas considerando valores acima de 0, a média e o desvio padrão, para a zona 1 é $(0.017 \pm 0.004 \text{ MPa})$, para a zona 2 é $(0.030 \pm 0.008 \text{ MPa})$ e para a zona 3 é $(0.022 \pm 0.007 \text{ MPa})$ (Tabela 5.3). Entre as 11:04 e as 12:00 os valores de pressão desceram para 0 o que é explicado pela remoção dos sensores.

No segundo dia, o voluntário 1 utilizou a ortótese das 9:16 até às 11:01 no período da manhã e das 14:00 até às 16:49 no período da tarde.

Analisando a pressão (Subfigura 5.4(b)), durante o período da manhã, a zona 2 apresenta maior pressão que os restantes e, durante o período da tarde, a zona 3 passa a ser o que apresenta valores mais elevados. Isto deve-se ao facto do voluntário 1, ter apertado mais a zona 3 no período da tarde. Tal como no primeiro dia de aquisições, os valores de pressão desceram para 0 durante os períodos de remoção dos sensores. É também possível observar, que durante quase todo o período da tarde a pressão na zona 1 foi 0 (Tabela II.2). Embora esta zona, para o voluntário 1, seja a que apresenta menos pressão de contacto, o sensor pode-se ter movido sem o voluntário se ter apercebido.

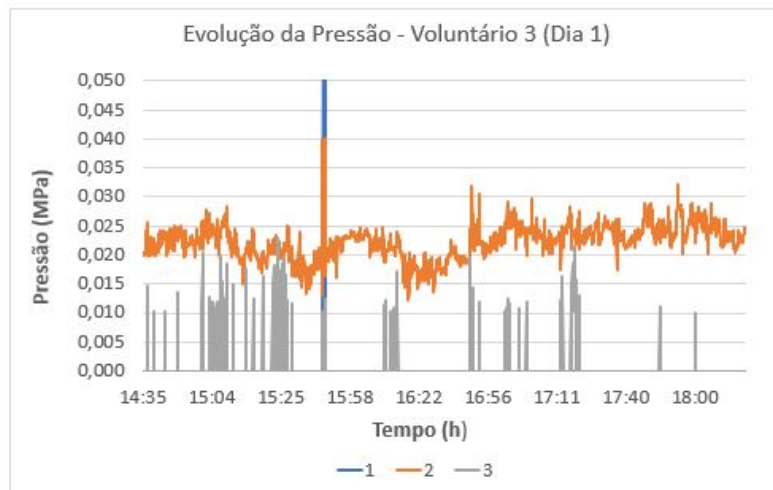
Tabela 5.3: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 1 no primeiro dia de aquisições (considerando para o cálculo apenas os valores acima de 0).

Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
9:38 - 11:03	$(0,017 \pm 0,004)$	$(0,030 \pm 0,008)$	$(0,022 \pm 0,007)$
11:04 - 12:00	0	0	0
13:37 - 16:03	$(0,013 \pm 0,002)$	$(0,034 \pm 0,011)$	$(0,019 \pm 0,005)$

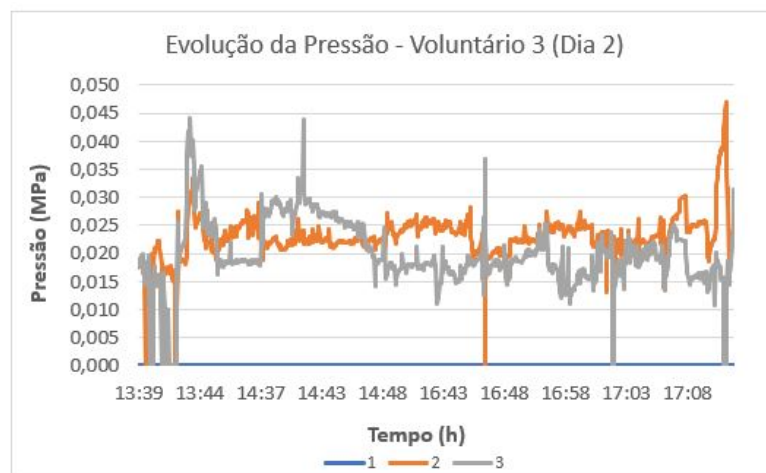
Tabela 5.4: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 1 no segundo dia de aquisições (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).

Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
9:16 - 11:01	$(0,017 \pm 0,005)$	$(0,029 \pm 0,008)$	$(0,018 \pm 0,005)$
11:02 - 11:08	0	0	0
14:00 - 16:49	$(0,027 \pm 0,013)$	$(0,013 \pm 0,003)$	$(0,028 \pm 0,012)$
16:50 - 16:59	0	0	0

Os voluntários 3 e 4 fizeram aquisições durante 2 dias. Relativamente aos valores de pressão, no ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi*, esta foi sempre 0, para ambos, exceto por picos isolados em que foi feita pressão com o dedo, para testar se o sensor estava a funcionar. A extremidade distal do rádio, foi a zona que apresentou maior repetibilidade dos valores medidos e valores mais elevados de pressão.



(a)



(b)

Figura 5.5: Gráfico da evolução da pressão para o voluntário 3 no primeiro dia de aquisições entre as 14:35 e as 18:00 (a) e no segundo dia de aquisições, entre as 13:09 e as 17:08 (b), no ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

Para o voluntário 3, nesta zona, os valores de tensão nunca desceram abaixo dos 0.34 V e, portanto, pela reta de calibração, a pressão esteve sempre acima de 0 MPa. Esta zona foi a única que apresentou mais registos de valores acima de zero (Subfigura 5.5(a)). Já a extremidade distal da ulna, apresentou vários picos de pressão com bastantes oscilações para 0. Isto ocorreu, devido à colocação incorreta do sensor, uma vez que deixou de se verificar no segundo dia de aquisições, como se observar na Subfigura 5.5(b).

O mesmo se verificou para o voluntário 4, que, além da sua ortótese não cobrir completamente a zona da extremidade distal da ulna, também ocorreu uma colocação incorreta do sensor nesta zona no primeiro dia de aquisições. Isto fez com que os valores de pressão fossem maioritariamente 0, ocorrendo o oposto no segundo dia de aquisições, que apresentou uma média de 0,021 MPa.

Para os voluntários 5, 6 e 7, além de falhas nos registos devido a problemas na internet, a pressão nas três zonas descia constantemente para 0, como se observa, em particular para o voluntário 5 na Figura 5.6. Os voluntários, foram exercendo força sobre os sensores com o dedo, para tentarem perceber o que se passava e, por isso, observam-se vários picos de pressão que correspondem a esses momentos.

Ao detetar esta situação, concluiu-se que os sensores de pressão não se estavam a comportar como se pretendia e o sensor da zona 1 deveria estar danificado, uma vez que era preciso aplicar muita força para ele responder.

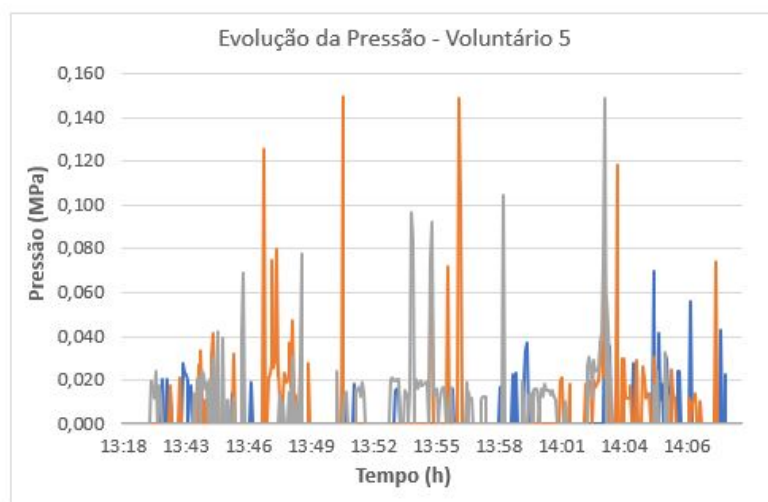


Figura 5.6: Gráfico da evolução da pressão para o voluntário 5 entre as 13:18 e as 14:06 no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

5.1.2 Discussão dos resultados das primeiras aquisições

Relativamente aos resultados apresentados nas subsecções anteriores, para os sete voluntários, é possível concluir que, relativamente à temperatura, os sensores medem a temperatura corretamente e esta encontra-se na gama de valores esperada para o

membro superior. Os problemas detetados que envolvem os sensores de temperatura são: a facilidade com que os fios acoplados ao dispositivo são desligados, existir contacto entre os fios e existir mau contacto com o dispositivo. Tudo isto tem interferência nos valores de tensão de saída, entre o sensor e a pele.

Estes problemas fizeram com que existissem grandes oscilações nos valores de temperatura no segundo dia de aquisições do voluntário 1, no primeiro dia de aquisições do voluntário 2, no primeiro dia de aquisições do voluntário 4 e também no voluntário 7.

Foi também detetada, uma grande fragilidade dos sensores, caso os fios fossem puxados ou manuseados com força ou sem muito cuidado. Isto faz com que os fios se partam e tenham de ser soldados novamente.

Relativamente à pressão, verifica-se que nos voluntários com uma ortótese feita por medida os resultados, no geral, são melhores do que nos voluntários em que a ortótese não é feita por medida (embora ficasse bem ajustada nas zonas deste estudo). A zona 2 é aquela que apresenta valores de pressão mais elevados e a zona 1 é aquela que apresenta valores de pressão mais baixos.

Detetou-se que, com exceção das aquisições dos voluntários 1 e 2, em todas as outras, o sensor de pressão da zona 1, não estava a funcionar adequadamente. Percebeu-se isto, após se fazerem alguns testes, com os pesos utilizados durante a calibração dos sensores e se observar à lupa, que os contactos interdigitais estavam queimados. Isto ocorreu após as aquisições dos voluntários 1 e 2, em que foi necessário aumentar o tamanho do fio desse sensor, por uma questão do conforto dos voluntários. O sensor ficou com os contactos interdigitais derretidos, resultado da temperatura demasiado elevada, provocada pela soldadura.

Após se fazer a substituição do sensor danificado, procurou-se compreender a razão das descidas contantes da pressão para 0. Assim, fizeram-se alguns testes para perceber a razão de tal acontecer.

Concluiu-se que a zona em que a área ativa do sensor é posicionada, a forma como o material da ortótese fica por cima do sensor, a força com que se apertam os velcros e a posição do membro superior são fatores que afetam muito os resultados obtidos. Pequenos movimentos do sensor dentro da ortótese, fazem com que a pressão oscile bastante, porque a distribuição da pressão na área ativa passa a ser diferente. Movimentos do membro superior, fazem com que a pressão oscile bastante e podem ser apenas movimentos da mão dentro da ortótese.

Isto é perceptível nas primeiras aquisições, para os voluntários 1 e 2 em que não se restringiram os movimentos.

5.2 Testes com os sensores de pressão

Para os voluntários 5, 6 e 7 que obtiveram piores resultados, experimentou-se colocar um material por trás da zona ativa do sensor para perceber, se ajudaria a melhorar a distribuição da pressão e permitir um aumento da repetibilidade dos valores. Fizeram-se

três conjuntos de aquisições com um dos sensores de pressão. O primeiro, sem nenhum material colado por trás do sensor (Figura 5.7 A), o segundo, com um material colado por trás do sensor (recortado para ter o formato do sensor, exatamente como estava inicialmente) (Figura 5.7 B) e o terceiro, com uma circunferência desse mesmo material (Figura 5.7 C) colado ao sensor, sobreposta ao material apresentado na Figura 5.7 B.

O material utilizado, é um tipo de plástico semiduro, com cola autocolante, que é utilizado para tapar a cabeça dos parafusos, nomeadamente, na montagem de móveis de madeira.

Estes testes tinham como objetivo obter a gama de valores dos sensores, para perceber o impacto da existência dessa superfície colada ao sensor, no aumento da distribuição de pressão na área ativa e, conseqüentemente, na melhoria dos resultados obtidos.



Figura 5.7: Sensor de pressão sem nenhum material colado na zona posterior da área ativa (A), com um material (plástico semiduro) colado com o formato da área ativa (B) e com o mesmo material, com o formato de uma circunferência (C).

Uma vez que a força com que se apertam os velcros influencia os resultados obtidos, decidiu-se fazer as aquisições com 3 níveis de força de aperto dos velcros. O primeiro nível, corresponde apenas a colar a fita ao velcro sem apertar, o segundo nível, corresponde a apertar a fita um pouco mais, sem que a pessoa sinta desconforto e o terceiro nível, corresponde a apertar a fita o máximo possível. Estes testes foram feitos apenas no voluntário 1, com o membro superior em extensão sobre uma mesa e em repouso.

Uma vez que era necessário perceber se estava a ser medida alguma tensão de saída quando a pressão era 0 (valores de tensão de saída abaixo dos 0,34 V), fez-se alterações no código para também se guardar a tensão de saída. Assim, nas subsecções seguintes apresentam-se alguns dos gráficos de pressão e da tensão de saída obtidos. As cores verde, laranja e vermelho correspondem aos níveis de força de aperto 1, 2 e 3 que são respetivamente o primeiro, segundo e terceiro nível de força de aperto. As restantes imagens dos gráficos encontram-se no Anexo IV.

5.2.1 Aquisições sem nenhum material atrás do sensor

Foram feitas aquisições durante aproximadamente 10 minutos. Sem nenhum material colado na parte de trás do sensor, como se vê na Figura 5.7 A, conclui-se que, para a zona 1 não existe uma distribuição de pressão, de tal forma que a tensão ultrapasse os 0,34 V e seja medida uma pressão superior a 0. Isto acontece mesmo apertando o velcro o máximo possível.

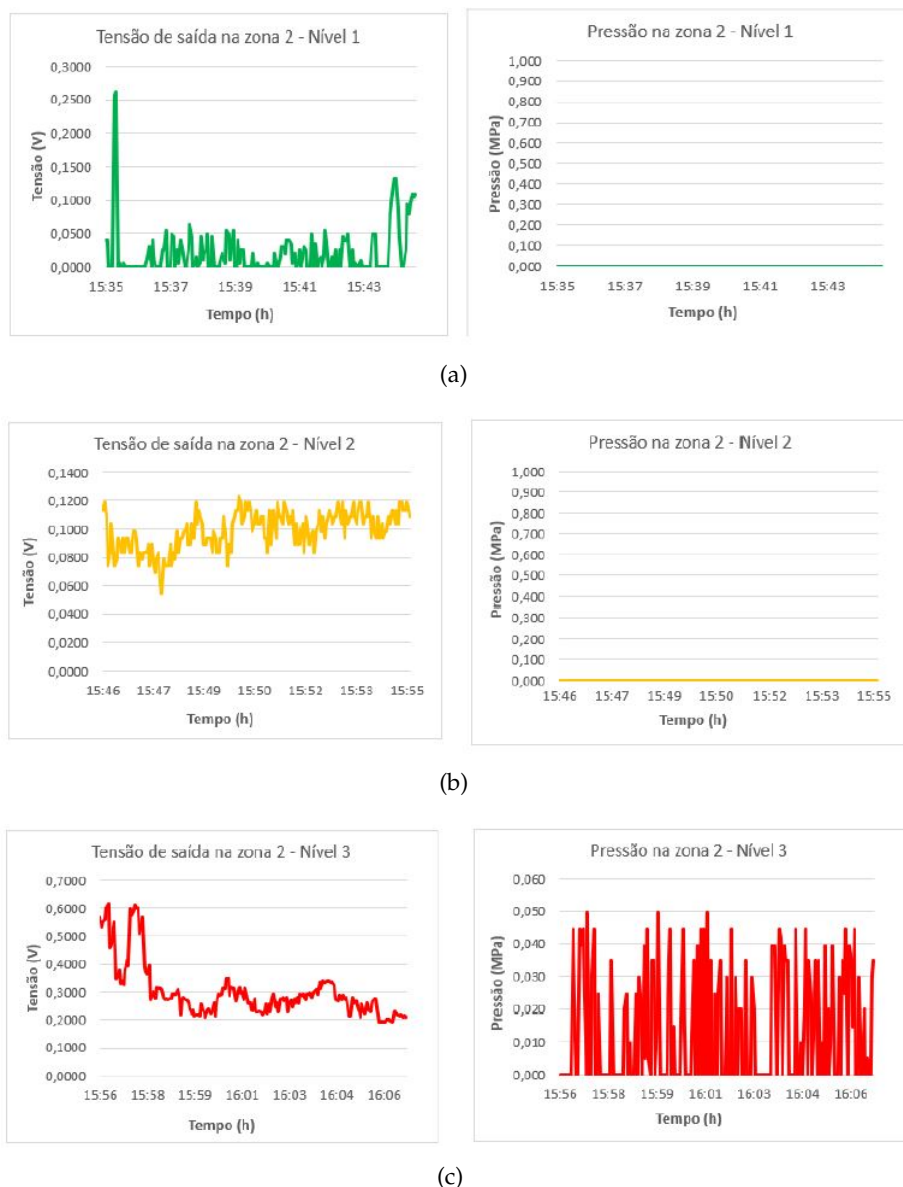


Figura 5.8: Gráficos da tensão de saída e pressão (sem nenhum material, colado na zona posterior da área ativa do sensor) para a zona 2 (extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica) com o nível de aperto 1 (a), com o nível de aperto 2 (b) e com o nível de aperto 3 (c).

Para a zona 2, verifica-se que apenas com o velcro apertado com o máximo de força possível, é que se obtêm valores acima de 0, embora a tensão de saída estabilize à volta

dos 0,34 V e, portanto, há oscilações permanentes da pressão entre 0 e um valor acima de 0 (Subfigura 5.8(c)). Com nível de aperto 1, a tensão é demasiado baixa (Subfigura 5.8(a)), e o nível de aperto 2 ainda não é suficiente para que a tensão de saída seja superior a 0,34 V, como se pode observar na Subfigura 5.8(b).

Tal como na zona 2, para a zona 3 apenas com o velcro apertado no máximo é que se obtêm valores de pressão acima de 0, aqui já sem tantas oscilações como as obtidas para a zona 2. A média da tensão de saída para cada uma das zonas pode ser observada na Tabela 5.5.

Assim, conclui-se que, para esta solução e tendo em conta a irregularidade da superfície do membro superior e os restantes fatores referidos anteriormente, é necessário existir um material sobre o sensor que ajude a aumentar a distribuição da pressão na área ativa do sensor.

Tabela 5.5: Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 1 sem nenhum material.

Nível de força	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
1	(0,0072 ± 0,0030)	(0,0409 ± 0,0370)	(0,007 ± 0,002)
2	(0,0110 ± 0,0046)	(0,0991 ± 0,0178)	(0,16 ± 0,11)
3	(0,0216 ± 0,0124)	(0,2998 ± 0,0978)	(0,29 ± 0,13)

5.2.2 Aquisições com um material colado atrás do sensor

Para o caso em que foi colado o material (tipo de plástico semiduro) atrás do sensor (recortado para ter o formato do sensor), apenas foi possível fazer aquisições durante cerca de 5 minutos. Com o material colado na parte de trás do sensor, conclui-se que para a zona 1 apenas para os níveis de aperto 2 e 3 é que existe uma distribuição de pressão suficiente para ultrapassar os 0,34 V e, portanto, para que seja medida uma pressão superior a 0.

Para o nível 2 embora melhor que no caso anterior, os valores de tensão ainda se encontram entre os 0,30 V e os 0,40 V e, portanto, há algumas pressões consideradas nulas (Figura 5.9).

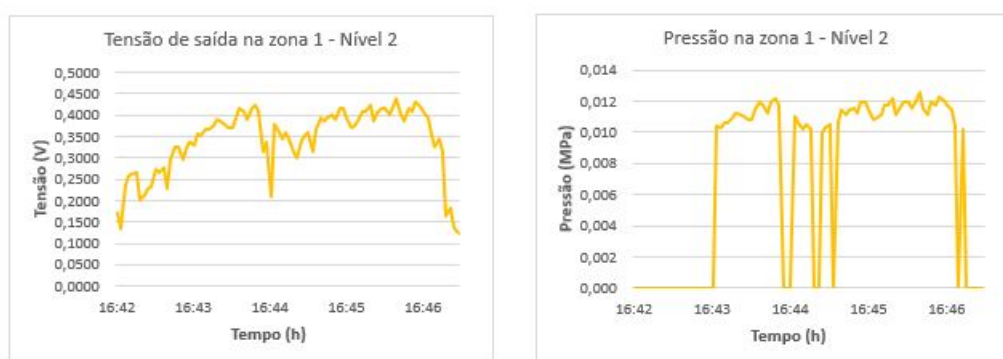


Figura 5.9: Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 1 com o nível de aperto 2 (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor).

Para o nível 3 os valores de tensão de saída já estão maioritariamente no intervalo entre os 0,50 V e os 0,60 V e portanto já há uma maior consistência nos valores de pressão (Figura 5.10).

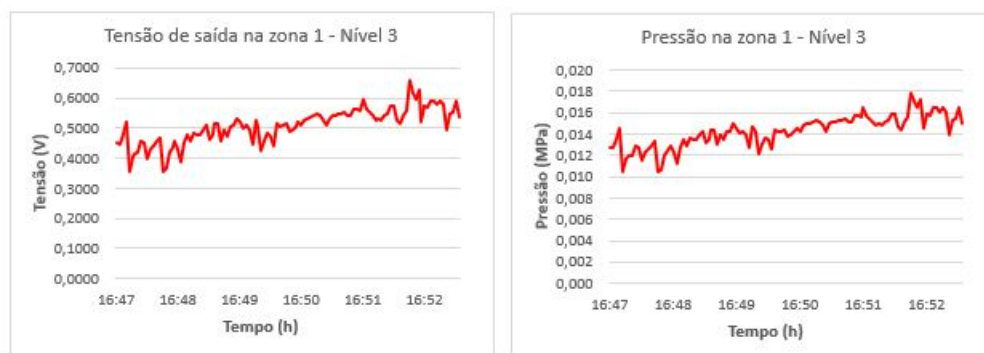


Figura 5.10: Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 1 (ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi*), com o nível de aperto 3 (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor).

Na zona 2, os valores de tensão de saída foram sempre acima de 0,34 V para qualquer um dos níveis. Infelizmente, para o nível 1, houve falhas nos registos e, portanto, só foram guardadas recolhidas durante 3 minutos. Embora estas falhas tenham ocorrido, continua a verificar-se uma diferença acentuada na média dos valores da tensão medida, nesta zona. Assim, para o nível 1, em particular, a média da tensão para a zona 2, continua a ser superior à registada na zona 1 e na zona 3 (Tabela 5.6).

Na zona 3 a variabilidade dos valores é muito elevada (Figura 5.11) uma vez que das 3 zonas é a área que apresenta uma superfície anatómica mais irregular, o que tem um grande impacto nos valores medidos pelos sensores de pressão. Em particular, para a aquisição em que se apertou o velcro o máximo possível, o voluntário sentiu muito desconforto e foi necessário tirar o velcro e voltar a apertar com menos força. É possível observar a diferença nos valores registados e a queda abrupta de tensão e de pressão, na Figura 5.12. A média e o desvio padrão da tensão, para cada uma das zonas, encontra-se na Tabela 5.6 e da pressão encontra-se na Tabela 5.7.

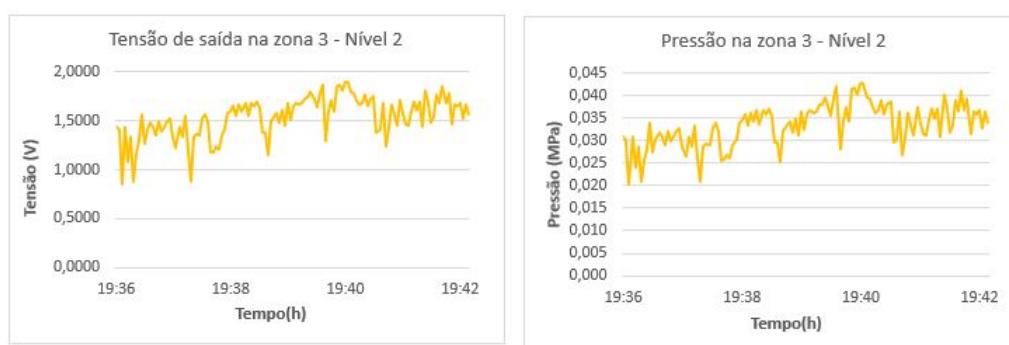


Figura 5.11: Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 3 (extremidade distal da ulna), com o nível de aperto 2 (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor).

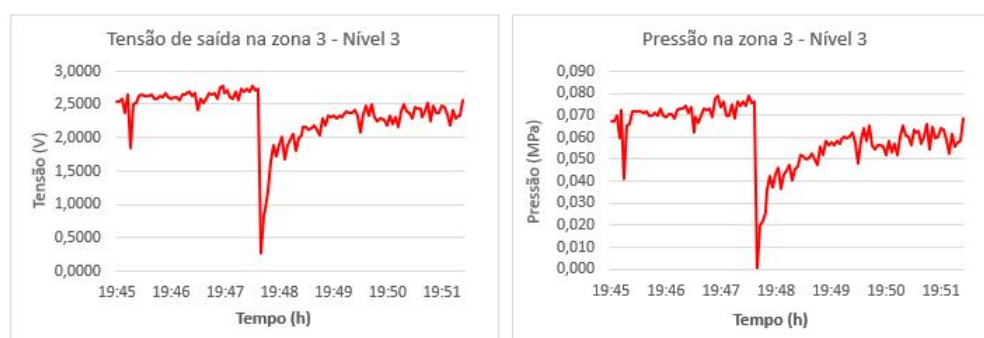


Figura 5.12: Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 3 (extremidade distal da ulna), com o nível de aperto 3 (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor).

Tabela 5.6: Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 1, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor.

Nível de força	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
1	(0,0569 ± 0,0105)	(1,0401 ± 0,0817)	(0,9897 ± 0,3201)
2	(0,3411 ± 0,0771)	(2,3092 ± 0,0824)	(1,5319 ± 0,2097)
3	(0,5061 ± 0,0601)	(3,5838 ± 0,0076)	*

* (2,6112± 0,1316) até às 19:47 e (2,2331 ± 0,2381) após as 19:47.

Tabela 5.7: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 1, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor (apenas considerando para o cálculo, valores acima de 0).

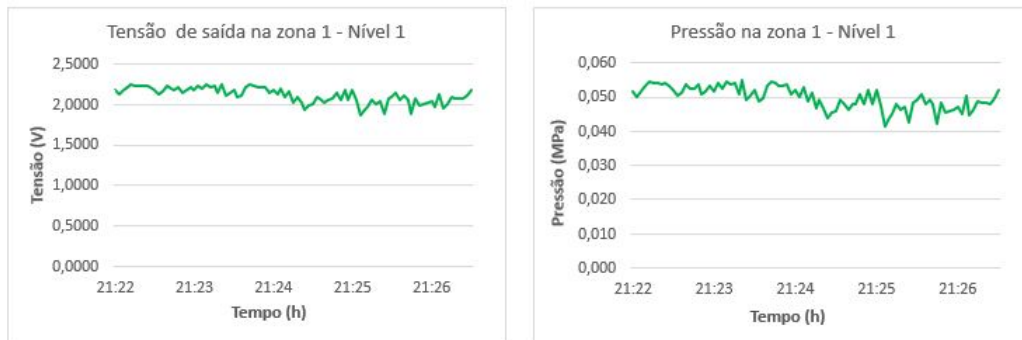
Nível de força	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
1	0	(0,023 ± 0,001)	(0,022 ± 0,005)
2	(0,011 ± 0,001)	(0,057 ± 0,003)	(0,033 ± 0,005)
3	(0,014 ± 0,001)	(0,140 ± 0,001)	*

* (0,071± 0,006) até às 19:47 e (0,055 ± 0,008) após as 19:47.

No geral, conclui-se que a distribuição da pressão na área de contacto, relativamente ao caso sem material, é mais uniforme. No entanto, esta melhoria não é suficiente para que a tensão de saída seja superior a 0,34 V na zona 1, com o nível 1 de força de aperto.

5.2.3 Aquisições com o material com o formato de uma circunferência

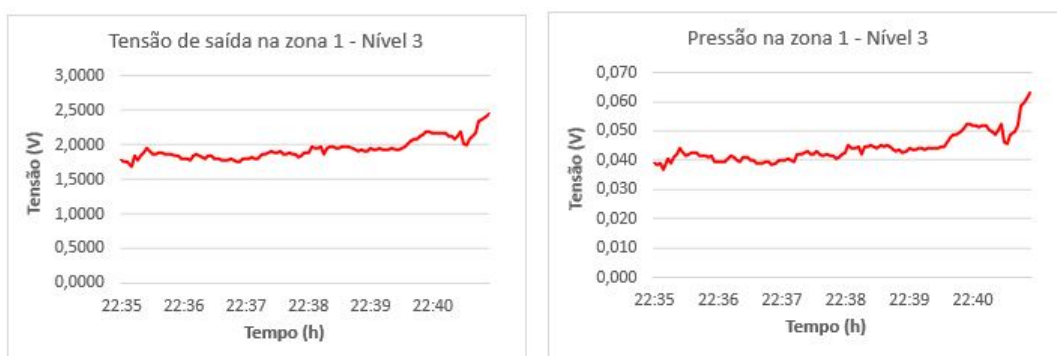
As aquisições com o material com o formato de uma circunferência e para os 3 níveis de força de aperto dos velcros, foram feitas nos voluntários 1, 3 e 4.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.13: Gráficos da tensão de saída e pressão para a zona 1, (ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi*), para o voluntário 1, com o nível de aperto 1 (a), com o nível de aperto 2 (b) e com o nível de aperto 3 (c) (com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência).

Estas aquisições foram feitas durante 10 minutos embora para o nível 3, este tempo tivesse sido reduzido, uma vez que os voluntários sentiram bastante desconforto e dor.

Para o voluntário 1, verifica-se que para a zona 1, não há tensões inferiores a 0,34 V em nenhum dos níveis de força de aperto, como se pode ver na Figura 5.13.

Na zona 2 e na zona 3 as tensões também nunca descem abaixo de 0,34 V. A zona 1 é aquela que atinge uma tensão de saída mais baixa com o máximo nível de aperto, enquanto que a zona 2, atinge mesmo a saturação. Todos os valores são apresentados nas Tabelas 5.8 e 5.9.

Tabela 5.8: Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 1, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência.

Nível de força	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
1	(1,0404 ± 0,0977)	(0,5257 ± 0,0818)	(1,4568 ± 0,1813)
2	(1,5009 ± 0,0556)	(1,9567 ± 0,0942)	(1,8195 ± 0,0759)
3	(1,9345 ± 0,1467)	(3,7015 ± 0,0073)	(3,2090 ± 0,0440)

Tabela 5.9: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 1, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência.

Nível de força	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
1	(0,023 ± 0,001)	(0,015 ± 0,002)	(0,032 ± 0,004)
2	(0,032 ± 0,001)	(0,045 ± 0,003)	(0,040 ± 0,002)
3	(0,044 ± 0,005)	(0,152 ± 0,001)	(0,108 ± 0,003)

Para o voluntário 3, embora não se perceba através da Figura 5.14, o material da ortótese na zona 1, não ficava tão justo, comparativamente com as ortóteses dos voluntários 1 e 4, na mesma zona.

Consequentemente, nesta zona, para o nível 1, a tensão não era suficiente, para se obter valores de pressão superiores a 0. Já o nível 2 apresenta uma gama de valores de tensão entre 0,49 V e 1,20 V.

Para o nível 3 obtiveram-se valores de tensão entre 0,51 V e 1,19 V. Assim, não se verifica para este voluntário e especificamente para a zona 1, uma diferença significativa de valores entre o nível de aperto 2 e 3.

Tal como para os restantes voluntários a ortótese deste voluntário na zona 2 está bastante justa, e, portanto, a tensão mínima medida foi de 1,26 V. O nível 3 apresentou uma maior variabilidade com valores entre 2,11 V e 2,30 V.



Figura 5.14: Fotografia do membro superior esquerdo do voluntário 3 com a ortótese colocada.

Relativamente à zona 3, para este voluntário, esta zona está coberta pelo material termoplástico. Verifica-se que os valores obtidos para o nível 2 e 3 são semelhantes embora exista mais variabilidade no nível 3.

A média e desvio padrão obtidos para a tensão de saída e para a pressão são apresentados na Tabela 5.10 e na Tabela 5.11, respetivamente.

Tabela 5.10: Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 3, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência.

Nível de força	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
1	(0,0243 ± 0,0061)	(1,6027 ± 0,1317)	(0,8517 ± 0,2202)
2	(0,7931 ± 0,1487)	(1,8927 ± 0,0732)	(1,5246 ± 0,0866)
3	(0,8831 ± 0,1334)	(2,1836 ± 0,0481)	(1,5170 ± 0,2162)

Tabela 5.11: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 3, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência.

Nível de força	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
1	0	(0,035 ± 0,003)	(0,019 ± 0,004)
2	(0,020 ± 0,002)	(0,043 ± 0,002)	(0,033 ± 0,002)
3	(0,021 ± 0,002)	(0,052 ± 0,002)	(0,033 ± 0,005)

Para o voluntário 4, é possível verificar através da Figura 5.15, que a zona 3 não fica coberta pelo material da ortótese, o que teve influência nos resultados obtidos para esta zona.



Figura 5.15: Fotografia do membro superior esquerdo do voluntário 3 com a ortótese colocada.

Para a zona 1 verifica-se que para o nível 1 existe sempre uma tensão acima dos 0,34 V.

A tensão mínima medida na zona 2 foi de 1,09 V, uma vez que, embora nesta zona a ortótese se encontrasse justa, não estava tanto como nos voluntários 1 e 3.

Verifica-se que o nível 1 apresenta uma maior variabilidade, sendo que há uma maior estabilização dos valores no nível 2 e no nível 3.

Relativamente à zona 3, para este voluntário, como esta zona não está coberta pelo material termoplástico da ortótese, e é a superfície anatômica mais irregular, verifica-se uma grande variabilidade de valores. Para o nível 1 a tensão não é suficiente para medir uma pressão acima de 0.

Tabela 5.12: Média e desvio padrão dos valores da tensão obtidos para o voluntário 4, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência.

Nível de força	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
1	(1,4574 ± 0,1321)	(1,2309 ± 0,1321)	(0,0309 ± 0,0331)
2	(1,6212 ± 0,0866)	(1,9835 ± 0,0515)	(2,1981 ± 0,1807)
3	(2,1159 ± 0,1107)	(1,8218 ± 0,0628)	(3,5568 ± 0,1030)

Tabela 5.13: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 4, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa do sensor, com o formato de uma circunferência.

Nível de força	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
1	(0,031 ± 0,003)	(0,027 ± 0,001)	(0,000 ± 0,000)
2	(0,035 ± 0,002)	(0,045 ± 0,002)	(0,053 ± 0,007)
3	(0,050 ± 0,004)	(0,040 ± 0,002)	(0,137 ± 0,010)

No geral, conclui-se que utilizando o sensor de pressão com o material, com o formato de uma circunferência, não é necessário um grande aperto do velcro para se obter valores de pressão consistentes, que é o desejado.

5.3 Segundas Aquisições

Como referido anteriormente, para uma melhor compreensão dos valores medidos pelos sensores, foi implementado no código, uma secção para guardar os valores da tensão de saída na base de dados e também, para os mostrar na aplicação. Neste segundo conjunto de aquisições, os sensores de pressão tinham o material com o formato de uma circunferência, colado na sua zona posterior. A logística para a segunda ronda de aquisições foi mais complexa, devido à aproximação do período de férias. Para o voluntário 7 não foi possível repetir as aquisições. No entanto, é possível constatar que com o material, com o formato de uma circunferência colado na parte de trás do sensor, mais dificilmente a tensão de saída cai abaixo dos 0,34 V.

Todos os gráficos e tabelas referentes ao segundo conjunto de aquisições, encontram-se no Anexo III.

5.3.1 Temperatura

Relativamente à temperatura, os valores obtidos são semelhantes aos obtidos no primeiro conjunto de aquisições, encontrando-se aproximadamente entre os 32 °C e os 33 °C.

No entanto, para o voluntário 6 ocorreram problemas relativos à ligação dos fios ao dispositivo, que comprometeram os resultados obtidos (Figura 5.16). Isto levou a falhas nos registos dos valores na base de dados e à obtenção de tensões de saída que geraram temperaturas negativas.

Consequentemente, decidiu-se soldar os sensores a um conector para evitar tanto os problemas de mau contacto ou de contacto entre os fios (que provocaram grandes oscilações de temperatura, em algumas das aquisições anteriores), como também o problema dos fios saírem do dispositivo.

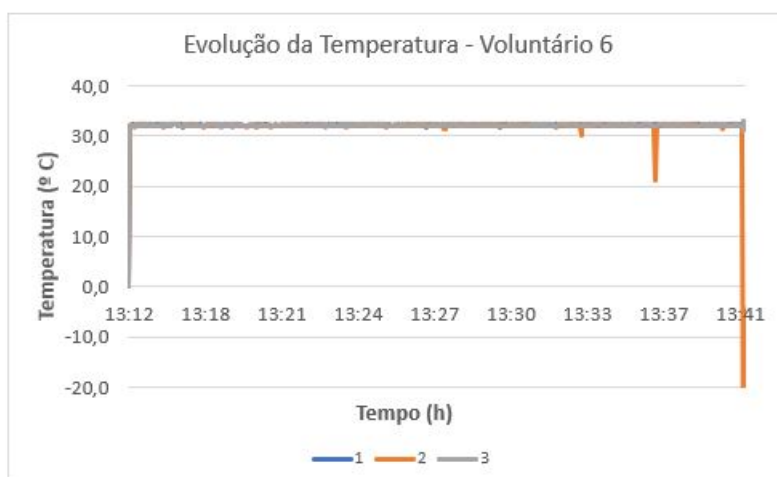


Figura 5.16: Gráfico da evolução da temperatura para o voluntário 6, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

5.3.2 Pressão

Relativamente aos valores de pressão, a diferença no comportamento dos sensores é bastante evidente. No geral, em todas as aquisições há uma maior repetibilidade dos valores devido à melhoria da distribuição da pressão na área ativa do sensor. Os picos existentes no início e no fim das aquisições devem-se à manipulação dos sensores.

Em particular, para o voluntário 1, verifica-se que a tensão não desce abaixo de 0,34 V em nenhuma das zonas, sendo que a zona 2 é aquela em que a pressão é mais elevada. A zona 1 e a zona 3, apresentam valores de pressão bastante próximos, como se pode verificar na Figura 5.17. A média e o desvio padrão dos valores obtidos de tensão e pressão são apresentados na Tabela 5.14 (sem considerar os momentos iniciais e finais de manipulação dos sensores).

Tabela 5.14: Média e desvio padrão dos valores de tensão e pressão obtidos entre as 17:16 e as 17:55 para o voluntário 1, (sem considerar os momentos iniciais e finais de manipulação dos sensores).

Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
(0,5150 ± 0,0636)	(2,9736 ± 0,1681)	(0,7284 ± 0,1246)
Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
(0,014 ± 0,002)	(0,092 ± 0,011)	(0,019 ± 0,002)

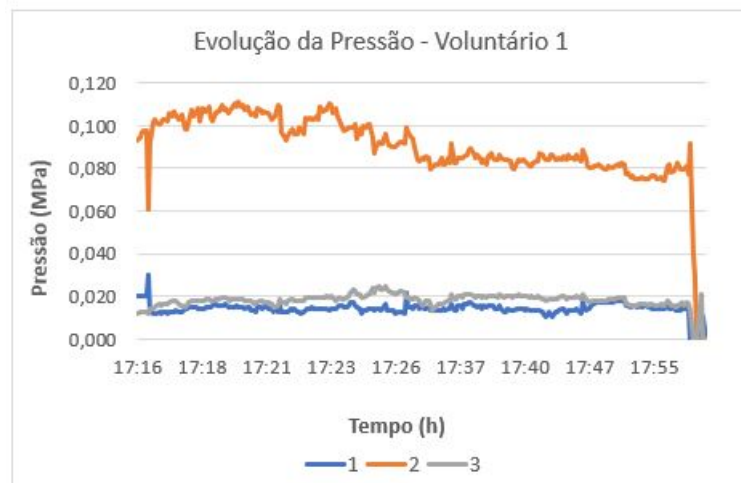


Figura 5.17: Gráfico da evolução e da pressão entre as 17:16 e as 17:55, para o voluntário 1, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

O voluntário 3 foi observado atentamente durante a aquisição e registou-se que, aproximadamente entre as 14:47 e as 14:50, ocorreram movimentos para o voluntário ficar mais confortável e, portanto, há oscilações nos valores de pressão, nesse período de tempo.

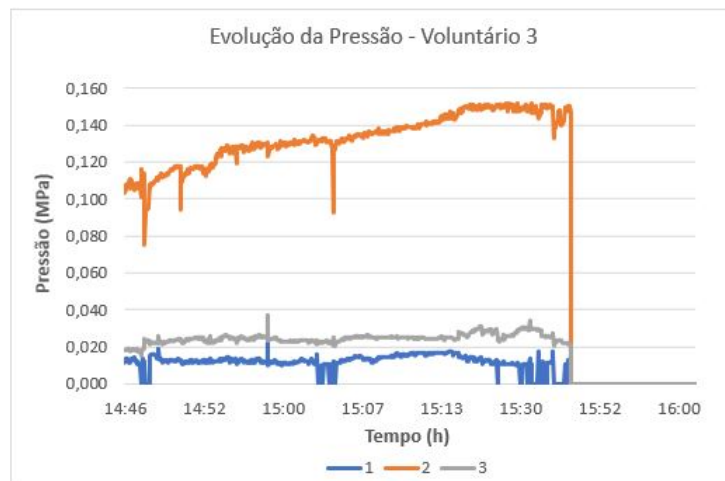


Figura 5.18: Gráfico da evolução e da pressão entre as 17:16 e as 17:55, para o voluntário 3, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

Há novamente movimento às 14:59, com dois picos mais acentuados na zona 1 e 3 e novamente às 15:04, com um pico maior na zona 2 e alguma oscilação na zona 1. Nos minutos finais da aquisição, a zona 1 apresenta alguma oscilação dos valores para 0, uma vez que houve manipulação do sensor. Os valores obtidos entre as 14:46 e as 15:43 (excluindo os valores registados em momentos em que ocorreram movimentos) podem ser observados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15: Média e desvio padrão dos valores da tensão e pressão obtidos entre as 14:46 e as 15:43 para o voluntário 3.

Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
(0,4389 ± 0,0929)	(3,4984 ± 0,1512)	(1,0991 ± 0,1470)
Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
(0,013 ± 0,002)	(0,133 ± 0,013)	(0,024 ± 0,002)

Para os voluntários 2, 5 e 6 ocorreram algumas falhas nos registos. Tal como referido anteriormente, o voluntário 6, teve problemas com a conexão dos fios dos sensores de temperatura, o que fez com que a aplicação se desligasse, e os registos fossem interrompidos. Consequentemente, isto fez com que o voluntário se mexesse para tentar perceber o que se passava e resolver o problema, o que explica a grande oscilação da tensão de saída e pressão.

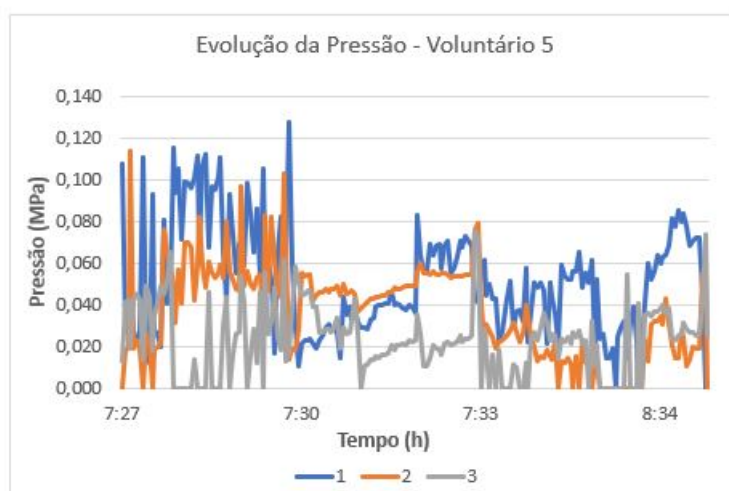


Figura 5.19: Gráfico da evolução e da pressão entre as 7:27 e as 8:34, para o voluntário 5, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

Mesmo assim, é possível verificar que também não ocorreram os mesmos problemas que ocorreram nas aquisições iniciais, no que diz respeito aos valores de pressão serem quase sempre 0 ou existirem oscilações constantes para 0.

Em particular para o voluntário 5 observando os gráficos é possível distinguir 4 momentos (Figura 5.19). Num primeiro momento (primeiros 3 minutos) as 3 zonas apresentam grande variabilidade nos valores. Num segundo momento (7:30 - 7:33) há uma certa estabilização que é mais acentuada na zona 2. Num terceiro momento (7:33 - 7:34) há uma descida dos valores para 0 onde há falha dos registos. Às 8:25 há uma subida dos valores seguida do término da aquisição.

Contrariamente ao primeiro conjunto de aquisições para este voluntário, verifica-se

que, com a presença da circunferência, há uma maior repetibilidade dos valores. Verifica-se que a pressão na zona 1 para este voluntário é a mais elevada e a da zona 3 a menos elevada e que apresenta menor repetibilidade. Novamente, isto deve-se ao facto de ser a superfície anatómica mais irregular, o que afeta o comportamento do sensor. As médias da tensão e da pressão são apresentadas na Tabela III.5, consoante o período temporal.

5.3.3 Discussão dos resultados do segundo conjunto de aquisições

Relativamente ao segundo conjunto de aquisições, e comparativamente com o primeiro conjunto de aquisições, constata-se que os sensores de temperatura funcionam bem e permitem detetar se a pessoa está ou não com a ortótese colocada, desde que não exista contacto entre os fios e estes não sejam removidos do dispositivo. Assim, para impedir que voltassem a ocorrer problemas de contacto entre os sensores e eventuais remoções acidentais, como já foi referido, todos os sensores foram soldados a um conector. Assim, desta forma, já não há contacto entre eles e não são removidos, a não ser que se retire o conector.

Em relação aos sensores de pressão, verifica-se que, com o material com o formato de uma circunferência, os resultados obtidos melhoram bastante, embora sejam obviamente afetados por movimentos do membro superior, e por uma eventual má colocação ou deslocação do sensor da zona onde deveria estar.

Verifica-se que a zona 2 ficou mais suscetível a entrar em saturação para os voluntários 1 e 3, porque para estes dois era uma zona onde a ortótese estava muito justa. Assim, no futuro, poderão ter de ser feitos ajustes no circuito eletrónico.

No geral, e tendo em conta que o dispositivo é apenas um protótipo, conclui-se que, analisando os valores de pressão nas diferentes zonas, é possível detetar as zonas onde a ortótese está mais justa e as zonas onde ocorre o oposto.

5.4 Testes de Usabilidade

Para obter *feedback* acerca da usabilidade da aplicação, foi solicitado aos voluntários que recolheram dados com o dispositivo e utilizaram a aplicação, que preenchessem um questionário, *System Usability Scale (SUS)*, criado através do Google Forms.

Assim, foi pedido a cada um dos voluntários que fizessem todo o fluxo de um paciente, começando pelo registo na plataforma e depois acedessem à página de alteração dos dados do paciente e fizessem a ligação do dispositivo ao *Bluetooth*.

O objetivo da utilização deste questionário, era compreender se utilizar a aplicação era fácil e intuitivo e se existiam inconsistências ou aspetos a melhorar.

5.4.1 Resultados do Questionário SUS

Para a criação do questionário, foi utilizada a ferramenta fornecida pelo Google Forms, sendo este apresentado no Anexo V. Os resultados do questionário são apresentados na

Tabela 5.16.

Para uma melhor análise dos resultados obtidos, as células com os scores 4 e 5, para as questões de carácter positivo (ímpares), e com os scores 1 e 2, para as questões de carácter negativo (pares) foram pintadas de verde. As células com score 3 foram pintadas de amarelo para ambas as questões. As células com score 1 e 2 para as questões de carácter positivo e 4 e 5 para as de carácter negativo foram pintadas de vermelho. Os resultados obtidos apresentados na coluna "Pontuação" mostram que o participante 1 e 5 consideram a aplicação "Boa", os participantes 6 e 7, "Excelente", os participantes 3 e 4, "Ok" e o participante 2 "Pobre".

Relativamente aos participantes 3 e 4, estes são os mais idosos e com mais dificuldades ao nível da manipulação de tecnologias, e, portanto, os resultados para ambos são compreensíveis. Uma vez que estes participantes precisam de mais ajuda para utilizar a aplicação, e também se focaram mais na página para começar as aquisições, (que ainda se encontrava numa versão bastante preliminar) atribuíram scores mais negativos às perguntas.

O participante 2 era uma terapeuta do Hospital Curry Cabral, que colaborou neste trabalho (aqui fez apenas a avaliação da aplicação no papel de um paciente).

Para estes três participantes em simultâneo, as questões que tiveram scores mais negativos são a 3, a 4, a 8 e a 10.

A questão 3, "Penso que a aplicação é fácil de utilizar", foi entendida como sendo referente à página apenas da ligação ao *Bluetooth* que é a página que os pacientes abrem mais vezes. Devia ter sido entendida, como referente à aplicação, de uma forma global.

A questão 4, "Penso que preciso de ajuda de um técnico para conseguir utilizar a aplicação.", também apresentou scores mais negativos para estes 3 participantes, novamente porque só consideram a página de iniciar a aquisição que no momento da realização dos questionários não era intuitiva e, de facto, precisavam de indicações para conseguirem utilizar esta página.

A questão 8, "Achei a aplicação muito complicada de utilizar.", e a questão 10, "Preciso de aprender muitas coisas antes de usar a aplicação.", apresentam igualmente scores negativos pelas mesmas razões das questões anteriores.

O participante 2 respondeu negativamente praticamente a todas as questões provavelmente porque se focou apenas na interface para iniciar uma aquisição.

Tabela 5.16: Resultados obtidos ao questionário **SUS** para cada um dos participantes.

Participantes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Pontuação
1	5	2	4	3	4	1	3	2	4	3	72,5
2	2	4	2	4	2	4	2	4	3	4	27,5
3	4	3	2	5	4	3	3	4	4	5	42,5
4	2	4	2	4	4	3	2	4	3	4	35
5	4	1	5	1	4	1	4	2	3	2	82,5
6	5	1	4	2	5	1	4	1	4	1	90
7	4	1	5	1	5	1	4	1	5	2	92,5

A média da pontuação é de 63,2 e portanto de acordo com a classificação acima referida a aplicação é "Boa".

5.4.2 Perguntas Complementares

Além do questionário **SUS**, foram feitas outras perguntas acerca da aplicação para perceber o que poderia ser corrigido ou melhorado.

Foi utilizada uma escala igual ao questionário **SUS**, isto é, de 1 a 5, em que o valor 1 corresponde a "Discordo fortemente" e o valor 5 corresponde a "Concordo fortemente". Os resultados às perguntas acerca da plataforma apresentam-se de seguida:

1 - Numa escala de 0 a 10, em quanto avaliaria a pertinência desta tecnologia na monitorização de pacientes que utilizem ortóteses?

De acordo com os resultados da Figura 5.20, verifica-se que a grande maioria dos participantes considera muito importante este tipo de tecnologia, para monitorizar pacientes que utilizem ortóteses, 42,9% e 57,1% escolheram numa escala de 1 a 10, 8 e 10 respetivamente.

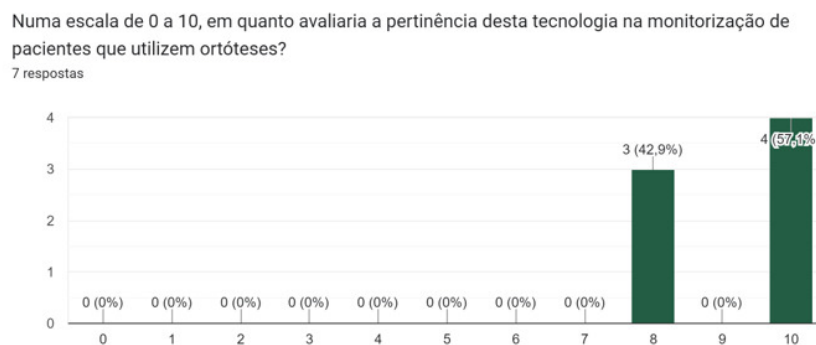


Figura 5.20: Pergunta relativa à pertinência desta tecnologia.

2 - A página do login é intuitiva.

A Figura 5.21 mostra que 71,4% considera que a página do login é intuitiva, concordando totalmente com a afirmação e 28,6%, ou seja 5 dos 7 participantes concordam totalmente que a página do login é intuitiva.

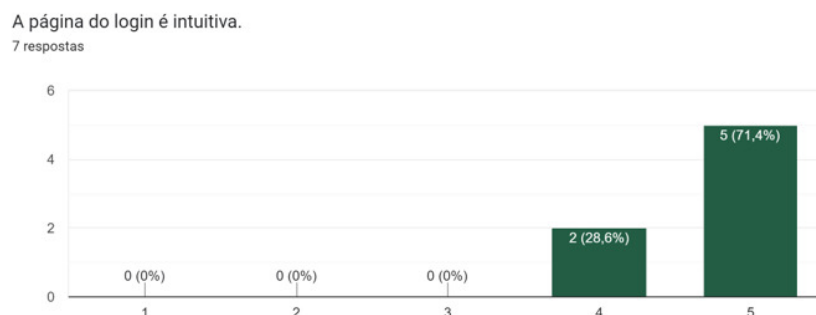


Figura 5.21: Pergunta relativa ao login.

3 - Fazer o registo pela primeira vez na aplicação é fácil e intuitivo.

A Figura 5.22 mostra que 2 dos 7 participantes concordam totalmente que a página do registo é intuitiva, ou seja 28,6%. Já 4 dos 7, apenas concordam e o último dá uma resposta neutra.

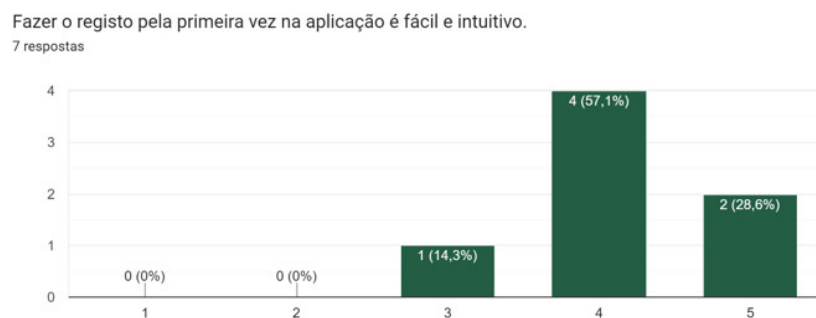


Figura 5.22: Pergunta relativa ao primeiro registo na aplicação.

4 - Alterar os dados pessoais é fácil e intuitivo.

A Figura 5.23 mostra que alterar os dados pessoais é intuitivo, 28,6% dos participantes concordam totalmente e 71,4% apenas concordam.

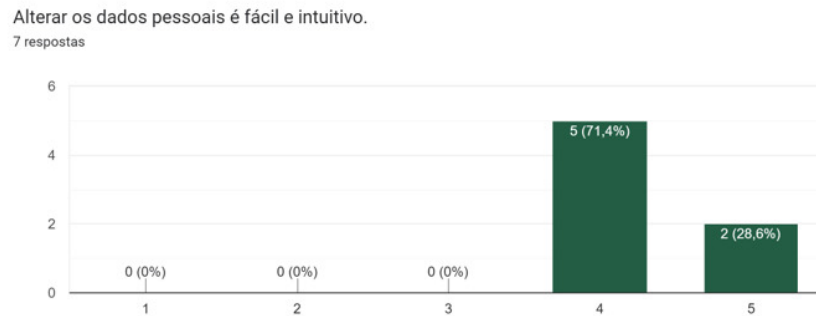


Figura 5.23: Pergunta relativa à alteração dos dados pessoais.

5 - A ligação do *Bluetooth* e seleção do dispositivo "blueblue" é fácil e intuitiva.

A Figura 5.24 mostra que 2 dos participantes não concordam que a escolha do dispositivo seja fácil e intuitiva, 3 dão uma resposta neutra e 2 concordam.

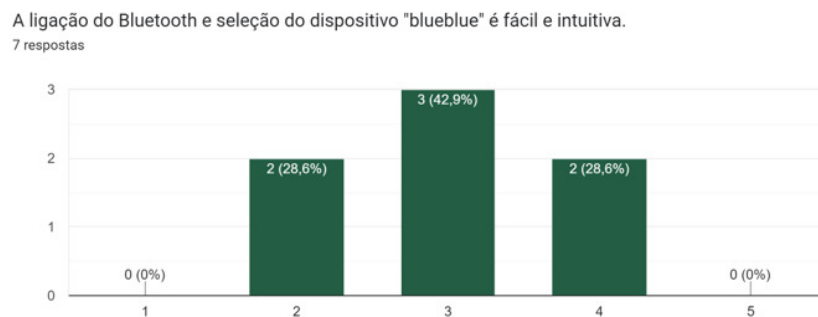


Figura 5.24: Pergunta relativa à ligação ao *Bluetooth*.

6 - Começar a fazer aquisições através da seleção do serviço e da característica é fácil e intuitivo.

A Figura 5.25 mostra que 3 dos participantes não concordam que seja fácil e intuitivo selecionar e serviço e a característica para começar a aquisição dos dados. Dos restantes 4, 2 são uma resposta neutra e 2 concordam.

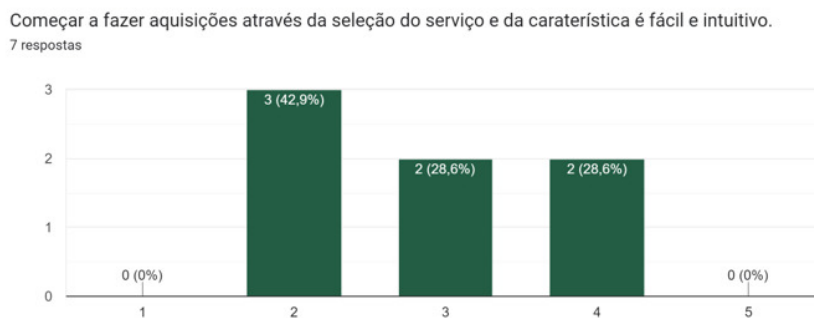


Figura 5.25: Pergunta relativa a novas aquisições.

7 - Seria importante existir um botão para parar a aquisição.

A Figura 5.26 mostra que 2 dos participantes concordam totalmente que seria uma mais valia existir um botão para parar a aquisição, 4 concordam apenas e 1 dá uma resposta neutra.

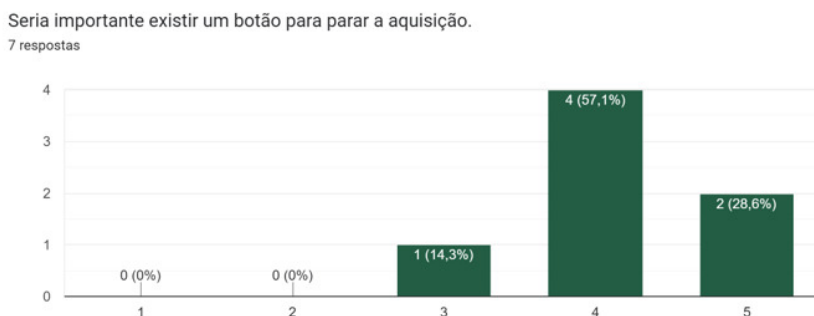


Figura 5.26: Pergunta relativa a novas aquisições.

8 - Seria importante ter uma fotografia do membro superior com cada local identificado e os valores desse local.

A Figura 5.27 mostra que 4 dos participantes concordam totalmente que seria importante existir uma fotografia com os locais onde devem ser colocados os sensores e respetivos valores dos dados de pressão e temperatura. Dos restantes participantes 2 concordam apenas e 1 dá uma resposta neutra.

Seria importante ter uma fotografia do membro superior com cada local identificado e os valores desse local .
7 respostas

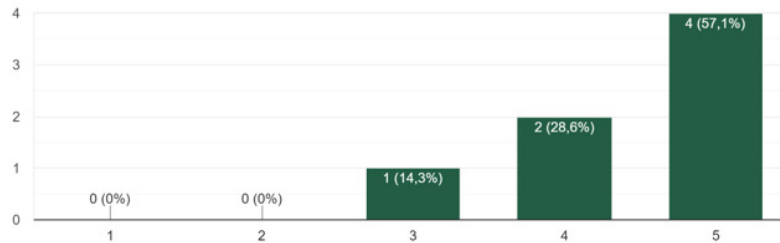


Figura 5.27: Pergunta relativa à identificação dos locais onde se devem colocar os sensores.

No final colocaram-se questões de resposta aberta, para saber que melhorias poderiam ser feitas à aplicação e que funcionalidades seriam uma mais valia acrescentar.

Relativamente à primeira, os participantes sugeriram melhorar a página de ligação ao *Bluetooth* para se tornar mais intuitiva. Quanto a novas funcionalidades, referiram que seria importante existir uma imagem que mostrasse onde os sensores devem ser colocados, e a possibilidade de ver a evolução dos valores num gráfico em tempo real.

ORTHO-MONITORIZER - NOVAS IMPLEMENTAÇÕES

No presente capítulo, são apresentadas as novas implementações realizadas.

A Secção 6.1 está relacionada com a parte da implementação da transferência dos dados via BLE.

Na Secção 6.2 são apresentadas todas as implementações realizadas na presente dissertação na aplicação para Android. Após a realização dos testes de usabilidade ainda foram feitas algumas melhorias na página da aquisição dos dados.

6.1 Transferência dos dados

Após a familiarização com o trabalho desenvolvido na tese anterior [1] e com o que tinha ficado por implementar, foi necessário desenvolver a parte da transferência dos dados por BLE para a aplicação Android.

Foram feitas várias tentativas para programar esta parte, no entanto não foram bem sucedidas, tendo sido descoberto mais tarde que existia um problema no circuito eletrônico.

Inicialmente, pensou-se que o módulo BLE poderia estar danificado e foram feitos testes com o módulo ligado a outra placa Arduino®, para perceber se era possível enviar e receber dados. Concluiu-se que o módulo funcionava corretamente e o problema era que a ligação entre as entradas do módulo e as entradas digitais do Arduino® estava trocada, portanto, nunca iria funcionar. Procedeu-se assim à correção dessa ligação.

6.1.1 Implementação no Arduino®

Os dados do BLE são apresentados através de uma estrutura hierárquica de atributos, o *Generic Attribute Profile*.

Os atributos podem ser serviços ou características e cada um deles é identificado por um Identificador Único Universal (do inglês, *Universally Unique Identifier (UUID)*). Cada serviço pode ter uma ou mais características. As características têm um valor que contém os

dados que são transferidos e um conjunto de propriedades que definem se a característica pode ser lida, gravada ou ambas [78].

A implementação no Arduino®, relativa à obtenção dos valores convertidos em megapascals e celsius, foi fornecida pela colega que desenvolveu a dissertação anterior, com as equações e cálculos necessários para essa conversão. Foi apenas necessário, acrescentar uma parte de código que enviasse os valores através do módulo BLE. Os valores dos 6 sensores, teriam todos de ser enviados através da única característica, que o módulo BLE utilizado no dispositivo possui [79].

Embora o envio dos dados funcionasse, os valores não estavam a ficar guardados corretamente na base de dados. Isto porque o módulo BLE utilizado, apenas permite o envio de 20 bytes de dados de cada vez. Os 6 valores distintos e as casas decimais, ultrapassavam os 20 bytes produzindo um corte na string enviada.

Felizmente, os valores lidos pelo Arduino® todos juntos numa String, não ultrapassam os 20 caracteres e, portanto, é enviada uma String com este conjunto de valores, e toda a parte das conversões é feita na aplicação. A taxa de comunicação com o monitor série foi de 9600 e a leitura dos dados foi feita de 3 ms em 3 ms.

6.2 Aplicação

Na dissertação anterior, foi desenvolvida a maior parte da aplicação, como apresentado na Subsecção 3.3.3 do Capítulo 3.3. Na presente dissertação, o foco principal foi a criação de gráficos, para os terapeutas visualizarem a evolução dos valores de pressão e temperatura, e gráficos para monitorizar a adesão do paciente à ortótese. Foram também feitas implementações, ao nível da página de aquisição dos dados, após a realização dos testes de usabilidade.

No menu dos pacientes foram também implementadas as páginas "*Instructions of Use*", "*Orthosis Cleaning*" e "*Parametrizations*".

6.2.1 Botão - *Instructions of Use*

As instruções dos cuidados a ter, ainda são disponibilizadas em formato de papel, sendo por isso importante converter esta parte para o digital.

No início da página foi colocada uma fotografia de uma ortótese e uma breve explicação do que são as ortóteses e para que servem.

Seguidamente, são apresentados os conselhos de utilização, com o tempo recomendado de utilização para aquele paciente específico (esta informação é introduzida na página *Parametrizations*).

Há também uma parte, que informa o utilizador, caso existam pontos de pressão ou algum tipo de vermelhidão ou alergia, para contactar o terapeuta e deixar de usar a ortótese.

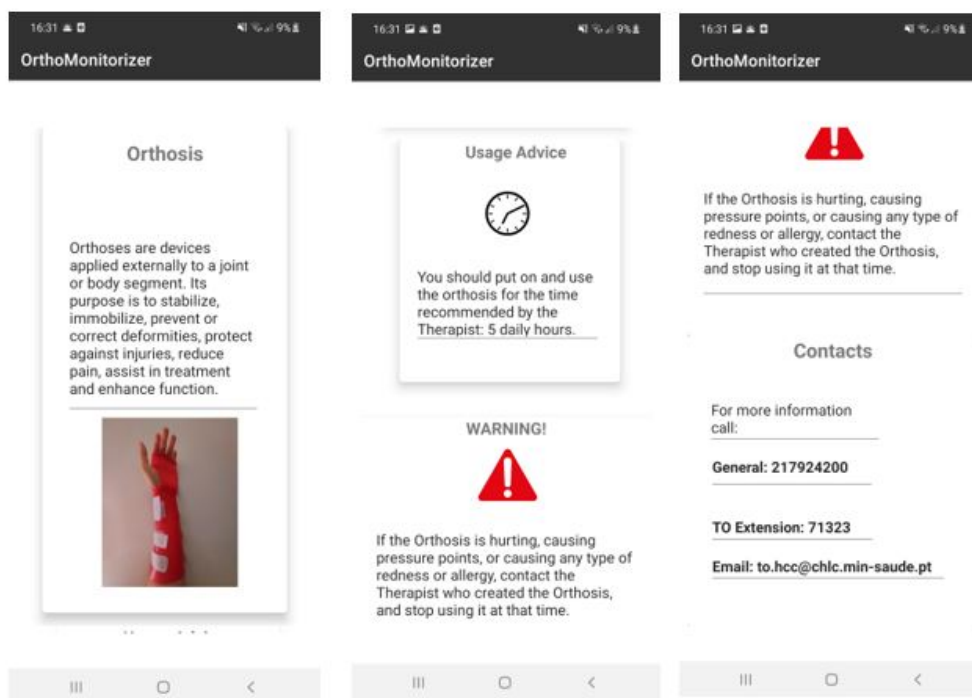


Figura 6.1: Página "Instructions of Use".

Por fim, são apresentados o contacto telefónico do hospital e o email. Tudo isto pode ser visualizado na Figura 6.1.

6.2.2 Botão - Limpeza da Ortótese

Tal como as instruções dos cuidados a ter, as instruções da limpeza da ortótese, também são disponibilizadas aos doentes em formato de papel. Uma vez que esta página não estava desenvolvida (apenas existia o botão "*Orthosis Cleaning*", foram adicionadas as mensagens com a informação relevante para os doentes.

As mensagens, que são apresentadas na Figura 6.2 são:

- 1 - Não deixe a Ortótese exposta a fontes de calor (ex: aquecedores, exposta ao sol, água quente...);
- 2 - Lavar a Ortótese diariamente com água e sabão e secar com toalha, ou com pano embebido em álcool;
- 3 - Não secar a Ortótese com secador nem aquecedor.

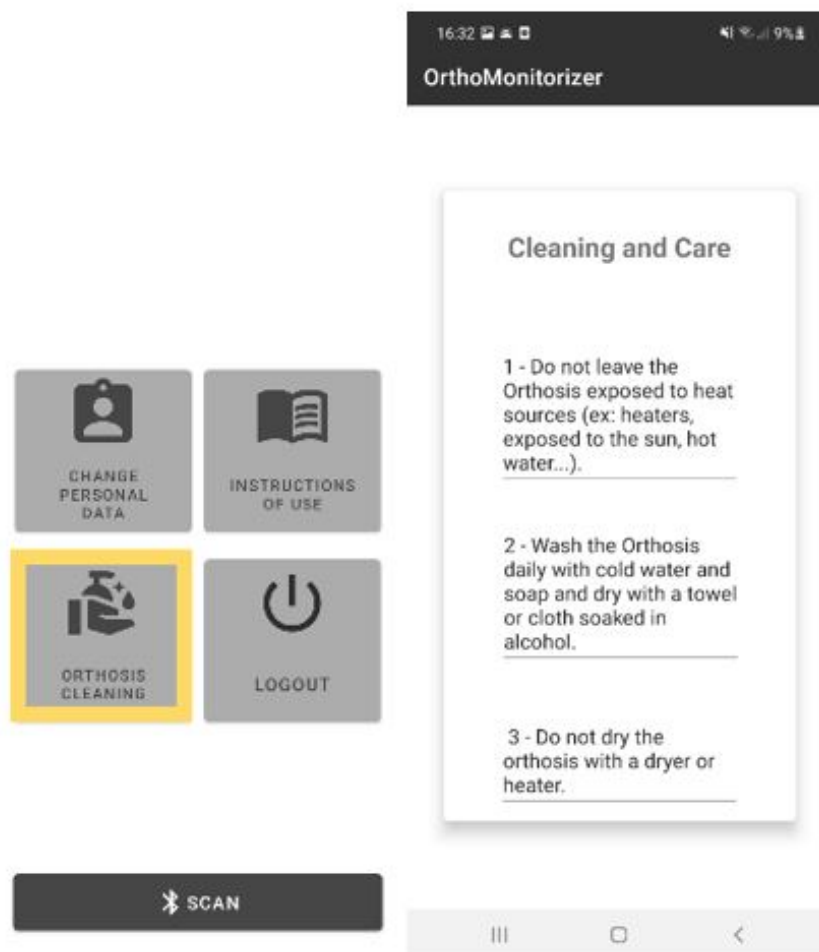


Figura 6.2: Página "Cleaning and Care".

6.2.3 Página de Aquisição de Dados

No início dos desenvolvimentos, a página apresentava uma primeira secção com o nome do módulo BLE (que foi alterado no Arduino® para "blueblue" durante a fase em que se testou a transmissão e receção de dados), um código identificador do módulo e a string dos valores enviados pelo Arduino® antes de qualquer conversão (Figura 6.3).

Numa segunda secção era apresentada na página, a lista de serviços e características disponibilizadas pelo módulo BLE. Os serviços que apareciam por default são o "Generic Access" com o UUID "0X180", responsável por estabelecer a funcionalidade de conexão, o "Generic Attribute" com o UUID "0X181" e o "Device Information" com o UUID "0X18a". O último serviço, com o UUID "0XFFFE0" é o mais importante, porque guarda os valores transferidos ou recebidos.

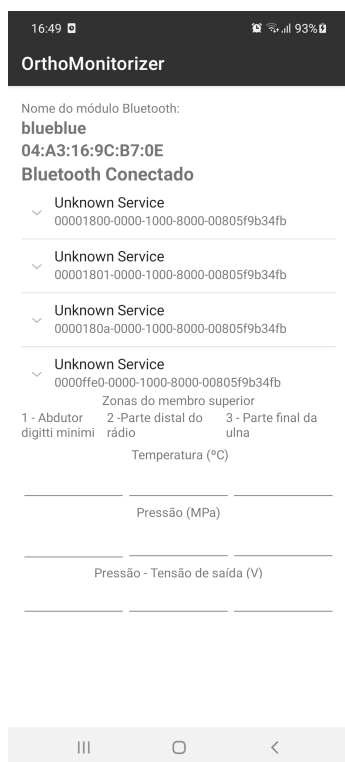


Figura 6.3: Página da Aquisição dos dados preliminar.

Para se começar a aquisição, era necessário clicar no serviço e clicar 2 vezes na característica. De seguida, os valores começavam a ser guardados na base de dados e eram apresentados na última secção da página, divididos pela zona do membro superior.

Mais tarde, a página foi reestruturada, tendo em conta os resultados do questionário de usabilidade *System Usability Scale (SUS)*. O intuito era simplificar ao máximo o processo de começar a aquisição.

Assim, na versão mais recente, aparece apenas o serviço para começar a aquisição, com frases que ajudam o utilizador a perceber o que deve fazer. Foi colocada uma fotografia, com as zonas do membro superior identificadas e várias caixas com os valores a aparecerem em tempo real. Foi também alterado o texto, que indica se o *Bluetooth* está ligado ou não, para melhor compreensão do utilizador (Figura 6.4).

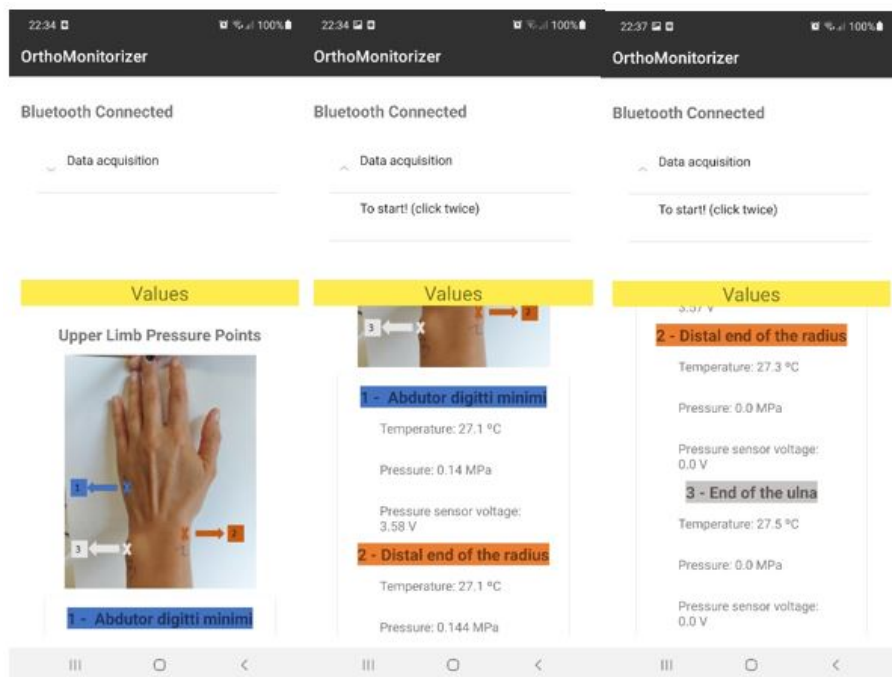


Figura 6.4: Página da Aquisição dos dados atual.

6.2.4 Página de Parametrizações

Esta página não existia, apenas existia um botão para futuramente aceder à página. O seu objetivo era permitir a parametrização (por parte dos terapeutas), do tempo de utilização da ortótese. Assim, foi adicionada uma caixa para os terapeutas conseguirem introduzir o número de horas que um determinado paciente tem de utilizar a sua ortótese (Figura 6.5).



Figura 6.5: Página das Parametrizações.

6.2.5 Página do Histórico do Doente

O principal foco dos novos desenvolvimentos da aplicação, foi a página do histórico do doente. O objetivo desta página, era apresentar graficamente os dados de pressão e temperatura de um determinado doente, para um determinado dia. Além disso, também era necessário implementar graficamente a adesão do doente à ortótese.

6.2.5.1 Gráficos de pressão e temperatura

O primeiro desenvolvimento foi a implementação dos gráficos com os valores de pressão e temperatura. Foi utilizada uma biblioteca [80], que disponibilizava ferramentas para a criação de vários tipos de gráficos para Android.

Na base de dados, em cada documento da coleção "*Values*", que representa uma aquisição num determinado instante, cada registo contém inicialmente 8 campos: o número do doente, 3 campos com os valores da pressão e 3 campos com os valores da temperatura, e um campo do tipo "*Timestamp*". Este último campo é guardado no formato "DD de MM de AAAA HH:mm:ss".

Assim, foi necessário primeiro separar o *Timestamp* de cada registo em ano, mês dia e hora e guardar esses campos separadamente em cada registo. Isto é feito quando se abre o histórico do paciente.

Inicialmente, os gráficos estavam a aparecer com os pontos todos interligados (Figura 6.6 A) Após vários testes para perceber a razão pela qual isso estava a acontecer, verificou-se que era necessário ordenar por ordem crescente os registos que vinham da base de dados. Na base de dados os registos não ficam guardados por ordem temporal, mas sim por ordem alfabética do seu identificador único.

Consequentemente, foi criada uma *query* para ordenar os registos, quando se faz a sua leitura da base de dados, antes de os guardar na estrutura necessária para a criação dos gráficos. Só assim é que as linhas do gráfico aparecem de forma correta.

Quando o número de registos na base de dados ultrapassou os 20000, apenas se conseguia fazer debug para resolver erros duas ou três vezes. A razão pela qual isto aconteceu, é porque o *Cloud Firestore* na subscrição gratuita, tem uma quota diária de leituras e gravações limitada. Esta quota é de 50000 leituras diárias e 20000 gravações diárias. Caso se ultrapasse a quota diária, nesse mesmo dia é impossível aceder ao projeto no *Cloud Firestore* e também não dá para aceder à aplicação, uma vez que esta acede à base de dados.

Para se contornar este problema foi criada uma coleção com poucos registos só para fazer testes e resolver erros.

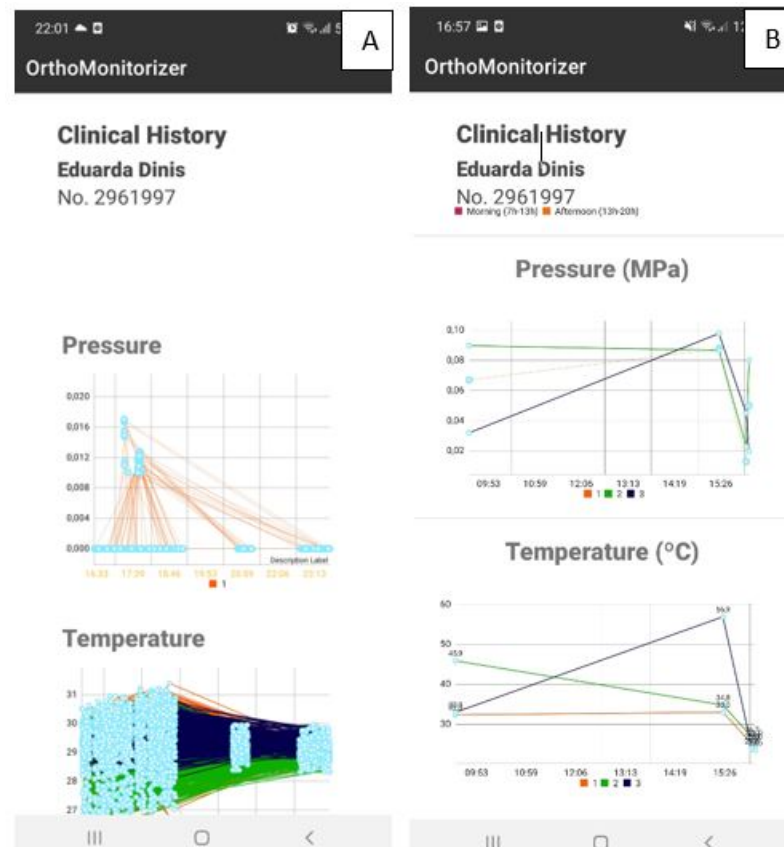


Figura 6.6: A - Início do desenvolvimento dos gráficos. B - Gráficos até ao momento.

6.2.5.2 Gráfico de barras com os dias do mês em que há registos

Também se constatou que existia a necessidade de que o utilizador, neste caso um terapeuta, conseguisse ver os dias em que o doente tem registos na base de dados (independentemente dos valores dos sensores). Para isso, utilizou-se um botão que permite a escolha de uma data. Neste caso o terapeuta escolhe inicialmente o mês e o ano que pretende e, de seguida, aparece um gráfico de barras com os dias em que o doente tem registos. O dia máximo visível no ecrã é o dia 10, mas o terapeuta consegue deslizar o gráfico até ao último dia do mês escolhido, para ver os restantes dias (Figura 6.7).

De forma a otimizar a procura dos dias em que o doente tem registos, foi criado um *array* no documento dos dados pessoais do utente que guarda o dia, o mês e o ano em que o doente fez uma aquisição.

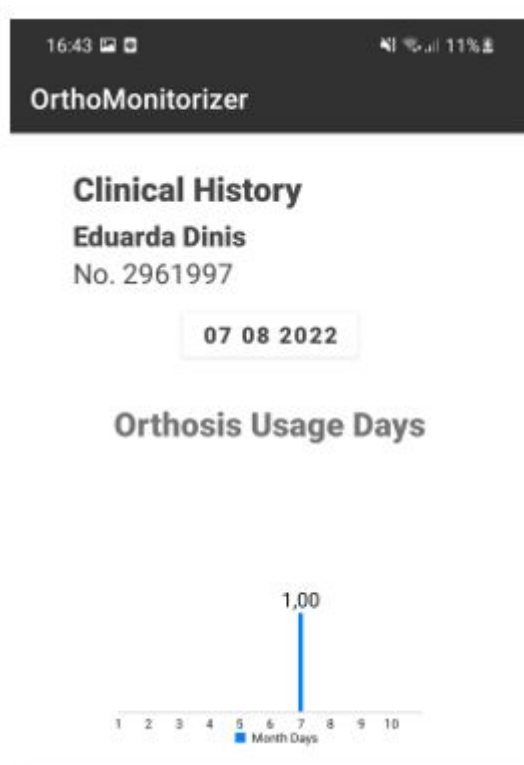


Figura 6.7: Gráfico de barras dos dias em que um determinado paciente tem registos no mês selecionado.

6.2.5.3 Gráficos da adesão do doente

Relativamente à adesão do doente foi criado um *pie chart* com a percentagem de aquisições em que a pressão é superior a 0 MPa e a temperatura superior a 30 °C (Figura 6.8). Uma vez que a temperatura ambiente pode variar bastante consoante o local e a estação do ano além de se considerar a temperatura como um indicador da adesão, considerou-se também a pressão para os resultados serem mais fidedignos.

Foi também calculado o tempo total durante o qual o doente utilizou a ortótese considerando-se que isto ocorre para valores de pressão acima de 0 MPa e valores de temperatura acima 30 °C.

Adicionou-se também um *pie chart* (Figura 6.8) que indica a percentagem de adesão por período do dia, ou seja a percentagem de aquisições no período da manhã, a percentagem no período da tarde e a percentagem no período da noite (só aparece caso o paciente tenha registos nesse período). Os intervalos de tempo de cada período para já não são parametrizáveis pelos terapeutas, mas futuramente se acharem necessário poderão ser.

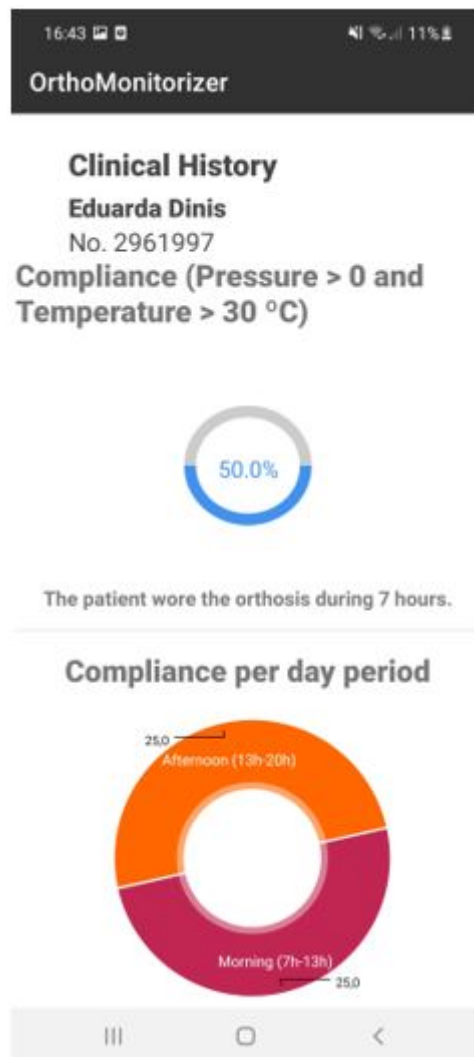


Figura 6.8: *Pie chart* com a percentagem de adesão para o dia selecionado, número de horas que o paciente utilizou a ortótese e *pie chart* com a adesão por período do dia.

6.3 Manual de Utilização

No Anexo VI, é apresentado o manual, que serve de guião para um doente utilizar a aplicação Ortho-Monitorizer. O manual apresentado, foi desenvolvido durante a realização da presente dissertação e inclui todas as alterações e as novas implementações realizadas até ao momento.

CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

Na secção 7.1, deste capítulo, são apresentadas as conclusões acerca do trabalho desenvolvido, nesta dissertação, e, na secção 7.2 são apresentadas sugestões para continuar a melhorar a aplicação. Na secção 7.3 é apresentado o artigo publicado que se encontra no anexo I.

7.1 Conclusão

Na presente dissertação, fez-se a validação de um dispositivo, o Ortho-Monitorizer, e de uma aplicação para Android, desenvolvidos para permitir a monitorização objetiva da utilização de ortóteses estáticas do membro superior.

Os objetivos que se pretendiam atingir, com o desenvolvimento do dispositivo e da aplicação, eram permitir aos terapeutas monitorizar não só a adesão de doentes que utilizem ortóteses, mas também detetar situações de risco.

Neste trabalho, o objetivo era fazer aquisições de dados com o dispositivo e a aplicação, e perceber se o dispositivo funcionava bem ou não. Foram também feitas novas implementações na aplicação e correções para melhorar a usabilidade por parte dos pacientes.

Primeiro, foi implementada a parte da transmissão e registo dos dados adquiridos para uma base de dados. Após a parte da aquisição estar funcional, foram feitas aquisições em 7 voluntários sem patologias do membro superior. Nestas aquisições percebeu-se que os sensores de pressão, têm algumas limitações e que um deles não funcionava corretamente. Constatou-se que por vezes (maioritariamente no ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi* e na extremidade distal da ulna), a tensão medida pelos sensores não era suficiente para, de acordo com a reta de calibração, produzir um valor de pressão superior a 0. Isto ocorreu por diversas razões, nomeadamente, o material da ortótese não cobrir completamente o sensor, o sensor não estar bem colocado junto à pele, terem sido feitos movimentos do membro superior, e falta de uniformidade na distribuição da pressão na área ativa do sensor.

Após se substituir o sensor estragado, fizeram-se testes com o sensor encostado ao

membro superior e verificou-se que a existência de um material na zona posterior, da área ativa do sensor, melhorava os resultados obtidos.

Consequentemente, fizeram-se aquisições apenas num dos voluntários com o sensor sem nenhum material, com um material plástico semiduro, colado na área posterior do sensor (recortado com o formato do sensor, como sempre esteve) e com o mesmo material, mas com o formato de uma circunferência, colado por cima do anterior.

Percebeu-se que com a circunferência, os resultados obtidos eram muito melhores, com uma maior repetibilidade dos valores de pressão. Assim, decidiu-se colar uma circunferência do material na zona posterior da área ativa dos 3 sensores de pressão. Para entender que valores se obtinham com diferentes níveis de força de aperto dos velcros, também foram feitos testes em 3 dos voluntários com ortóteses feitas por medida.

A força com que se aperta os velcros varia de pessoa para pessoa e não é possível medir-se essa força diretamente, existindo sempre alguma variabilidade de aquisição para aquisição. E, embora tenha sido a mesma pessoa a apertar os velcros para estes testes continua a existir alguma variabilidade presente. Mesmo assim, é possível verificar que quanto mais se aperta maior a pressão exercida no membro superior e que com a circunferência colada na zona posterior da área ativa melhora a distribuição da pressão aumentando a repetibilidade dos resultados obtidos.

Seguidamente, fez-se um novo conjunto de aquisições que só foi possível em 6 dos voluntários. Para estas aquisições, foi pedido que os voluntários estivessem sentados, com o membro superior em extensão e o cotovelo apoiado numa superfície e que não o mexessem (embora tenham ocorrido movimentos, em certos momentos, em que alguns dos voluntários estavam desconfortáveis). Os resultados obtidos ao nível dos valores de pressão, foram bastante melhores do que os obtidos nas primeiras aquisições, embora tivessem ocorrido problemas para 3 dos voluntários. Estes problemas estavam relacionados com a ligação à internet, tendo havido falhas nos registos e com os os sensores de temperatura.

Como os sensores de temperatura saíam com facilidade e os fios também colidiam, o que interferia com os valores da tensão de saída, também se decidiu soldar todos os sensores a um conector, para eliminar esses problemas e facilitar a conexão e desconexão dos fios no dispositivo, caso fosse necessário.

Verificou-se que com estes sensores e o dispositivo da forma como está atualmente, o utilizador tem restrições ao nível dos movimentos, embora no caso desta dissertação as ortóteses sejam estáticas e, portanto, não é expectável que o utilizador faça movimentos com o membro superior. Observou-se também, que os sensores são flexíveis e adaptam-se à forma do membro superior, no entanto, deixam marcas na pele com facilidade.

Relativamente à aplicação, no menu dos terapeutas, foi implementada a página do histórico do doente, com gráficos da adesão e dos valores de pressão e temperatura e a página das parametrizações com a possibilidade de inserção do número de horas que o doente deve utilizar a ortótese. Foram implementadas as duas páginas em falta do menu dos pacientes e melhorada a interface da aquisição dos dados para tornar o processo mais

fácil.

Tendo em conta as observações referidas, conseguiu-se atingir os objetivos pretendidos. Embora existam melhorias que devem ser feitas no futuro, o Ortho-Monitorizer permitirá monitorizar de uma forma quantitativa, a adesão do doente à ortótese e também situações de risco, como alterações de temperatura e pontos de pressão anormais.

7.2 Trabalho futuro

No futuro, o ideal seria transformar o dispositivo, num dispositivo sem fios, com sensores incorporados na ortótese, de forma a ficarem colocados nas zonas críticas de pressão.

Relativamente à aplicação, é necessário fazer um upgrade à base de dados, para ser possível fazer testes com um maior número de registos, sem se perder o acesso diário à aplicação. Em relação aos gráficos, seria interessante possibilitar aos terapeutas escolherem o número de registos que querem visualizar ou escolherem o número de registos por período de tempo.

Caso o paciente sentisse dor ou desconforto, também seria interessante existir um botão, em que o doente clicava e selecionava a zona em causa, sendo que essa informação ficaria visível para o terapeuta, através de alertas.

Tendo em conta as sugestões dos testes de usabilidade, também deveria existir um botão, para os pacientes pararem a registo dos dados e um gráfico em tempo real, para uma visualização mais facilitada dos parâmetros de temperatura e pressão.

Deveriam também ser investigados os limites de dor e que valores são potenciadores à formação de úlceras de pressão.

No futuro, pretende-se que o Ortho-Monitorizer seja uma ferramenta utilizada nos serviços de reabilitação, possibilitando a monitorização quantitativa do uso de ortóteses, para os terapeutas, e melhorando a reabilitação, para os pacientes.

7.3 Artigo publicado

No decorrer do trabalho foi escrito um artigo, que foi publicado na revista Springer [81] e que se encontra no Anexo I. Este artigo vem no seguimento do artigo realizado na dissertação anterior, que foi publicado no âmbito da 15th International Conference on Biomedical Electronics and Devices (BIODEVICES 2022), [82].

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Gonçalves. «Desenvolvimento de um dispositivo para monitorização do uso de ortóteses do membro superior». FCT NOVA, 2022-04 (ver pp. vii, viii, 1, 3, 30–34, 39, 76).
- [2] M. A. Maini et al. «The global challenges and opportunities in the practice of rheumatology: White paper by the World Forum on Rheumatic and Musculoskeletal Diseases». Em: *Clinical Rheumatology* 34 (5 2015-05), pp. 819–829. ISSN: 0770-3198. DOI: 10.1007/s10067-014-2841-6. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10067-014-2841-6> (ver p. 1).
- [3] *Musculoskeletal health*. Último acesso a 19 de Setembro de 2022. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (ver p. 1).
- [4] O. Sangha. «Epidemiology of rheumatic diseases». Em: *Rheumatology* 39 (suppl₂ 2000-12), pp. 3–12. ISSN: 1462-0332. DOI: 10.1093/rheumatology/39.suppl_2.3. URL: https://academic.oup.com/rheumatology/article-lookup/doi/10.1093/rheumatology/39.suppl_2.3 (ver pp. 1, 13).
- [5] *O complexo universo das doenças reumáticas | CUF*. Último acesso a 27 de Janeiro de 2022. URL: <https://www.cuf.pt/mais-saude/o-complexo-universo-das-doencas-reumaticas> (ver p. 1).
- [6] B. M. Benish, K. J. Smith e M. H. Schwartz. «Validation of a Miniature ThermoChron for Monitoring Thoracolumbosacral Orthosis Wear Time». Em: *Spine* 37 (4 2012-02), pp. 309–315. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31821e1488. URL: <http://journals.lww.com/00007632-201202150-00009> (ver pp. 1, 24, 25).
- [7] *Terminologia Anatómica - Planos, Direções e Regiões | Kenhub*. Último acesso a 18 de Agosto de 2022. URL: <https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/terminologia-anatomica-pt> (ver pp. 4, 5).
- [8] *MRI Plane Mathematics*. Último acesso a 18 de Agosto de 2022. URL: https://my-ms.org/mri_planes.htm (ver pp. 4, 5).

- [9] S. D. Forro, A. Munjal e J. B. Lowe. «Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Arm Structure and Function». Em: *StatPearls* (2021-07). URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507841/> (ver p. 6).
- [10] F. H. 1.-1. Netter. *Atlas of human anatomy*. Seventh edition. Elsevier, [2019], 2019 (ver p. 6).
- [11] J. A. E. Pina. *Anatomia humana da locomoção*. 5ª ed. Lidel, 2014. ISBN: 978-989-752-116-4 (ver pp. 6–13).
- [12] *Anatomia Ombro | Dr. César Betoni*. Último acesso a 25 de Agosto de 2022. URL: <https://www.cesarbetoni.com/anatomia-ombro> (ver p. 6).
- [13] *Articulação do cotovelo: Anatomia e ligamentos | Kenhub*. Último acesso a 12 de Junho de 2022. URL: <https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/articulacao-do-cotovelo> (ver p. 8).
- [14] *Ossos da mão e punho - Carpos, metacarpos e falanges | Anatomia papel e caneta*. Último acesso a 19 de Setembro de 2022. URL: <https://anatomia-papel-e-caneta.com/ossos-da-mao-e-punho-carpos-metacarpos-e-falanges/> (ver p. 9).
- [15] S. V. *Textbook of Anatomy: Upper Limb and Thorax*. 2ª edition. Elsevier Health Sciences, 2014 (ver pp. 10–12).
- [16] *Antebraço e cotovelo - Anatomia, músculos, ossos | Kenhub*. Último acesso a 19 de Setembro de 2022. URL: <https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/cotovelo-e-antebraço> (ver p. 11).
- [17] G. E. Price. «Rheumatology: 6. Localized rheumatism.» Em: *CMAJ: Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne* 163 (2 2000-07), pp. 176–83. ISSN: 0820-3946. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10934982%20http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC80210> (ver pp. 14, 15).
- [18] M. J. Page et al. «Splinting for carpal tunnel syndrome». Em: *Cochrane Database of Systematic Reviews* (2012-07). ISSN: 14651858. DOI: 10.1002/14651858.CD010003. URL: <https://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD010003> (ver p. 14).
- [19] CUF. *Síndrome do túnel do carpo - Distúrbios ósseos, articulares e musculares - Manual MSD Versão Saúde para a Família*. Último acesso a 27 de Janeiro de 2022. URL: <https://www.msmanuals.com/pt-pt/casa/dist%C3%BArbios-%5C%C3%5C%B3sseos,-articulares-e-musculares/doen%C3%5C%A7as-das-m%C3%5C%A3os/s%C3%5C%ADndrome-do-t%C3%5C%BAnel-do-carpo> (ver p. 14).
- [20] M. Chammas et al. «Síndrome do túnel do carpo – Parte I (anatomia, fisiologia, etiologia e diagnóstico)». Em: *Revista Brasileira de Ortopedia* 49 (2014), pp. 429–436. DOI: 10.1016/j.rbo.2013.08.007. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rbo.2013.08.007> (ver p. 14).

- [21] B. Celik et al. «The effects of orthotic intervention on nerve conduction and functional outcome in Carpal Tunnel Syndrome: A prospective follow-up study». Em: *Journal of Hand Therapy* 28 (1 2015-01), pp. 34–38. ISSN: 08941130. DOI: [10.1016/j.jht.2014.07.008](https://doi.org/10.1016/j.jht.2014.07.008). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0894113014001446> (ver p. 14).
- [22] «Medical gallery of Blausen Medical 2014». Em: *WikiJournal of Medicine* 1 (2014). ISSN: 20024436. DOI: [10.15347/wjm/2014.010](https://doi.org/10.15347/wjm/2014.010). URL: https://en.wikiversity.org/wiki/WikiJournal_of_Medicine/Medical_gallery_of_Blausen_Medical_2014 (ver p. 14).
- [23] C.-H. Liu, K.-S. Yip e H.-Y. Chiang. «Investigating the optimal handle diameters and thumb orthoses for individuals with chronic de Quervain’s tenosynovitis – a pilot study». Em: *Disability and Rehabilitation* 42 (9 2020-04), pp. 1247–1253. ISSN: 0963-8288. DOI: [10.1080/09638288.2018.1522548](https://doi.org/10.1080/09638288.2018.1522548). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09638288.2018.1522548> (ver p. 15).
- [24] *Tenosinovite de Quervain | CUF*. Último acesso a 27 de Janeiro de 2022. URL: <https://www.cuf.pt/saude-a-z/tenosinovite-de-quervain> (ver p. 15).
- [25] E. Satteson e S. C. Tannan. «De Quervain Tenosynovitis». Em: *Essentials of Physical Medicine and Rehabilitation: Musculoskeletal Disorders, Pain, and Rehabilitation* (2022-02), pp. 149–153. DOI: [10.1016/B978-0-323-54947-9.00028-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-54947-9.00028-6). URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442005/> (ver p. 15).
- [26] A. P. Mulgaonkar, R. Kornbluh e H. Herr. «A NEW FRONTIER FOR ORTHOTICS AND PROSTHETICS: APPLICATION OF DIELECTRIC ELASTOMER ACTUATORS TO BIONICS». Em: *Dielectric Elastomers as Electromechanical Transducers* (2008-01), pp. 193–206. DOI: [10.1016/B978-0-08-047488-5.00019-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047488-5.00019-8) (ver p. 15).
- [27] R. Eldar e M. Jelic. «The association of rehabilitation and war». Em: *Disability and rehabilitation* 25 (18 2003-09), pp. 1019–1023. ISSN: 0963-8288. DOI: [10.1080/0963828031000137739](https://doi.org/10.1080/0963828031000137739). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12944156/> (ver p. 15).
- [28] *Orthosis - Oxford Reference*. Último acesso a 29 de Julho de 2022. URL: <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199687817.001.0001/acref-9780199687817-e-7134> (ver p. 16).
- [29] I. Jimenez-Perez et al. «Foot Orthosis in Running». Em: *Materials in Sports Equipment* (2019-01), pp. 451–485. DOI: [10.1016/B978-0-08-102582-6.00016-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102582-6.00016-2) (ver p. 16).
- [30] D. A. Schwartz. *Orthoses*. Elsevier, 2020-01, pp. 89–99. ISBN: 978-0-323-52479-7. DOI: [10.1016/B978-0-323-52479-7.00007-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52479-7.00007-7). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323524797000077> (ver pp. 16, 18–22).
- [31] M. Dulce e N. G. Leiria. «Talas/Ortóteses – Fundamentos para a Prática». Em: (2010) (ver p. 16).

- [32] B. M. Kelly, A. T. Patel e C. Dodge. «Upper Limb Orthotic Devices». Em: *Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation* (2021-01), pp. 209–228. DOI: [10.1016/B978-0-323-62539-5.00011-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-62539-5.00011-4) (ver p. 16).
- [33] J. Howell. «Principles and Components of Upper Limb Orthoses». Em: *Atlas of Orthoses and Assistive Devices* (2019-01), 134–145.e1. DOI: [10.1016/B978-0-323-48323-0.00012-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48323-0.00012-3) (ver pp. 16, 20).
- [34] S. K. Wong. «Classification of Hand Splinting». Em: <http://dx.doi.org/10.1142/S0218810402001199> 7 (2 2011-11), pp. 209–213. ISSN: 02188104. DOI: [10.1142/S0218810402001199](https://doi.org/10.1142/S0218810402001199) (ver pp. 16–18).
- [35] M. da Saúde Brasília. *Guia para prescrição, concessão, adaptação e manutenção de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção*. 1ª edition. MS, 2019. ISBN: 978-853-342-742-6 (ver p. 20).
- [36] Q. Meng, J. Hu e Y. Zhu. «Properties of shape memory polyurethane used as a low-temperature thermoplastic biomedical orthotic material: influence of hard segment content». Em: <http://dx.doi.org/10.1163/156856208786140355> 19 (11 2012-11), pp. 1437–1454. ISSN: 15685624. DOI: [10.1163/156856208786140355](https://doi.org/10.1163/156856208786140355). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1163/156856208786140355> (ver pp. 20, 21).
- [37] N. Cobetto et al. «Braces Optimized With Computer-Assisted Design and Simulations Are Lighter, More Comfortable, and More Efficient Than Plaster-Cast Braces for the Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis». Em: *Spine Deformity* 2 (4 2014-07), pp. 276–284. ISSN: 2212-134X. DOI: [10.1016/J.JSPD.2014.03.005](https://doi.org/10.1016/J.JSPD.2014.03.005) (ver p. 20).
- [38] V. Petrovic et al. «Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies». Em: <https://doi.org/10.1080/00207540903479786> 49 (4 2010-02), pp. 1061–1079. ISSN: 00207543. DOI: [10.1080/00207540903479786](https://doi.org/10.1080/00207540903479786). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540903479786> (ver p. 20).
- [39] A. M. Paterson et al. «Comparing additive manufacturing technologies for customised wrist splints». Em: *Rapid Prototyping Journal* 21 (3 2015-04), pp. 230–243. ISSN: 13552546. DOI: [10.1108/RPJ-10-2013-0099](https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2013-0099) (ver p. 21).
- [40] J. H. Buurke et al. «Usability of thenar eminence orthoses: report of a comparative study». Em: *Clinical Rehabilitation* 13 (4 1999-08), pp. 288–294. ISSN: 0269-2155. DOI: [10.1191/026921599671603077](https://doi.org/10.1191/026921599671603077). URL: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1191/026921599671603077> (ver p. 22).
- [41] D. L. Bader, P. R. Worsley e A. Gefen. «Bioengineering considerations in the prevention of medical device-related pressure ulcers». Em: *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 67 (2019-07), pp. 70–77. ISSN: 1879-1271. DOI: [10.1016/J.CLINBIOMECH.2019.04.018](https://doi.org/10.1016/J.CLINBIOMECH.2019.04.018). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31077978/> (ver p. 22).

- [42] M. V. D. Angelis et al. «Efficacy of a soft hand brace and a wrist splint for carpal tunnel syndrome: a randomized controlled study». Em: *Acta Neurologica Scandinavica* 119 (1 2009-01), pp. 68–74. ISSN: 00016314. DOI: [10.1111/j.1600-0404.2008.01072.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2008.01072.x). URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0404.2008.01072.x> (ver p. 22).
- [43] X. Tan et al. «A Soft Pressure Sensor Skin for Hand and Wrist Orthoses». Em: *IEEE Robotics and Automation Letters* 5 (2 2020-04), pp. 2192–2199. ISSN: 2377-3766. DOI: [10.1109/LRA.2020.2970947](https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2970947). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8978479/> (ver pp. 22, 27, 28, 30–32, 43, 45).
- [44] X. Tan et al. «A Soft Pressure Sensor Skin to Predict Contact Pressure Limit Under Hand Orthosis». Em: *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 29 (2021), pp. 536–545. ISSN: 1534-4320. DOI: [10.1109/TNSRE.2021.3059015](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3059015). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9353579/> (ver pp. 22, 28).
- [45] R. P. Tracy. «The Five Cardinal Signs of Inflammation: Calor, Dolor, Rubor, Tumor ... and Penuria (Apologies to Aulus Cornelius Celsus, De medicina, c. A.D. 25)». Em: *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 61 (10 2006-10), pp. 1051–1052. ISSN: 1079-5006. DOI: [10.1093/gerona/61.10.1051](https://doi.org/10.1093/gerona/61.10.1051). URL: <https://academic.oup.com/biomedgerontology/article-lookup/doi/10.1093/gerona/61.10.1051> (ver p. 22).
- [46] J. Werner e M. Buse. «Temperature profiles with respect to inhomogeneity and geometry of the human body». Em: *Journal of Applied Physiology* 65 (3 1988-09), pp. 1110–1118. ISSN: 8750-7587. DOI: [10.1152/jappl.1988.65.3.1110](https://doi.org/10.1152/jappl.1988.65.3.1110). URL: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1988.65.3.1110> (ver p. 22).
- [47] C. Childs. *Body temperature and clinical thermometry*. Vol. 157. Handb Clin Neurol, 2018-01, pp. 467–482. DOI: [10.1016/B978-0-444-64074-1.00029-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64074-1.00029-X). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978044464074100029X> (ver pp. 22, 46).
- [48] S. A. Bus, R. Waaijman e F. Nollet. «New Monitoring Technology to Objectively Assess Adherence to Prescribed Footwear and Assistive Devices During Ambulatory Activity». Em: *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 93 (11 2012-11), pp. 2075–2079. ISSN: 0003-9993. DOI: [10.1016/J.APMR.2012.06.019](https://doi.org/10.1016/J.APMR.2012.06.019) (ver p. 23).
- [49] G. Davies et al. «Methods for assessment of patient adherence to removable orthoses used after surgery or trauma to the appendicular skeleton: a systematic review.» Em: *Trials* 21 (1 2020-06). ISSN: 17456215. DOI: [10.1186/S13063-020-04456-2](https://doi.org/10.1186/S13063-020-04456-2). URL: <https://doi.org/10.1186/s13063-020-04456-2> (ver p. 23).
- [50] E. Bettoni et al. «A systematic review of questionnaires to assess patient satisfaction with limb orthoses». Em: *Prosthetics and Orthotics International* 40 (2 2016-04), pp. 158–169. ISSN: 17461553. DOI: [10.1177/0309364614556836/ASSET/IMAGES/LARGE/1](https://doi.org/10.1177/0309364614556836/ASSET/IMAGES/LARGE/1)

- 0.1177_0309364614556836-FIG2.JPEG. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0309364614556836> (ver pp. 23, 24).
- [51] J. Zarowin et al. «Is Wearable Technology Part of the Future of Orthopedic Health Care?» Em: *Clinical spine surgery* 33 (3 2020-04), pp. 99–101. ISSN: 2380-0194. DOI: [10.1097/BSD.0000000000000776](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30688678/). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30688678/> (ver p. 24).
- [52] S. Aldebeyan, A. Aoude e E. J. Harvey. «Electronics and orthopaedic surgery». Em: *Injury* 49 Suppl 1 (2018-06), S102–S104. ISSN: 1879-0267. DOI: [10.1016/S0020-1383\(18\)30313-9](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29929684/). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29929684/> (ver p. 24).
- [53] E. Chalmers et al. «An advanced compliance monitor for patients undergoing brace treatment for idiopathic scoliosis». Em: *Medical Engineering & Physics* 37 (2 2015-02), pp. 203–209. ISSN: 13504533. DOI: [10.1016/j.medengphy.2014.12.010](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350453315000090). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350453315000090> (ver pp. 24, 26, 27).
- [54] A. Mao et al. «Detection of Pressure and Heat in a Compressive Orthotic for Diabetes Prevention Using Nanotechnology». Em: (2018), pp. 211–214. DOI: [10.1109/RFM.2018.8846491](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30188846491/) (ver pp. 24, 26).
- [55] H. B. Menz e D. R. Bonanno. «Objective measurement of adherence to wearing foot orthoses using an embedded temperature sensor». Em: *Medical Engineering & Physics* 88 (2021-02), pp. 19–24. ISSN: 13504533. DOI: [10.1016/j.medengphy.2020.12.002](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135045332030182X). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135045332030182X> (ver p. 24).
- [56] S. Telfer et al. «Personalized foot orthoses with embedded temperature sensing: Proof of concept and relationship with activity». Em: *Medical Engineering & Physics* 36 (1 2014-01), pp. 9–15. ISSN: 1350-4533. DOI: [10.1016/J.MEDENGPY.2013.08.002](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/243201308002/) (ver p. 24).
- [57] P. Ramya, B. Padmapriya e S. Poornachandra. «Foot pressure monitoring using single layer carbon loaded piezoresistive material». Em: *Microprocessors and Microsystems* 79 (2020-11), p. 103263. ISSN: 0141-9331. DOI: [10.1016/J.MICPRO.2020.103263](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30103263/) (ver p. 24).
- [58] A. Real et al. «A capacitive pressure sensor for monitoring of the pectus carinatum treatment». Em: *AIP Conference Proceedings* 2425 (1 2022-04), p. 200005. ISSN: 0094-243X. DOI: [10.1063/5.0081496](https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0081496). URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0081496> (ver p. 24).
- [59] M. D. Nowak, K. S. Abu-Hasaballah e P. S. Cooper. «Design enhancement of a solid ankle-foot orthosis: real-time contact pressures evaluation.» Em: *Journal of rehabilitation research and development* 37 (3 2000-05), pp. 273–81. ISSN: 0748-7711. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10917259> (ver pp. 24, 26, 27).

- [60] *iButton THERMO-S-KIT Thermochron Starter Kit Miniature Data Loggers*. Último acesso a 19 de Setembro de 2022. URL: <https://i-button.co.uk/starter-ds19221> (ver p. 24).
- [61] *Make your Brace smart with Orthotimer Wear Time Sensors | OTWorld*. Último acesso a 19 de Setembro de 2022. URL: <https://www.ot-world.com/exhibitors-products/product/otworld/411859/173055> (ver p. 24).
- [62] *Spinal Tech | The stTracker® Compliance Monitor System*. Último acesso a 19 de Setembro de 2022. URL: <https://spinaltech.com/resources/sttracker-compliance-monitor> (ver p. 24).
- [63] R. E. Hawary et al. «Brace treatment in adolescent idiopathic scoliosis: risk factors for failure—a literature review». Em: *The Spine Journal* 19 (12 2019-12), pp. 1917–1925. ISSN: 15299430. DOI: [10.1016/j.spinee.2019.07.008](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.07.008). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1529943019308782> (ver p. 25).
- [64] C. Zhu et al. «A compliance real-time monitoring system for the management of the brace usage in adolescent idiopathic scoliosis patients: a pilot study». Em: *BMC musculoskeletal disorders* 22 (1 2021-12). ISSN: 1471-2474. DOI: [10.1186/S12891-021-03976-5](https://doi.org/10.1186/S12891-021-03976-5). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33546648/> (ver pp. 26, 27).
- [65] E. Lou et al. «An objective measurement of brace usage for the treatment of adolescent idiopathic scoliosis». Em: *Medical Engineering & Physics* 33 (3 2011-04), pp. 290–294. ISSN: 13504533. DOI: [10.1016/j.medengphy.2010.10.016](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2010.10.016). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135045331000247X> (ver p. 27).
- [66] L. Armitage, S. Turner e M. Sreenivasa. «Human-device interface pressure measurement in prosthetic, orthotic and exoskeleton applications: A systematic review». Em: *Medical Engineering & Physics* 97 (2021-11), pp. 56–69. ISSN: 1350-4533. DOI: [10.1016/J.MEDENGPY.2021.09.008](https://doi.org/10.1016/J.MEDENGPY.2021.09.008) (ver p. 27).
- [67] P. J. Keir et al. «Guidelines for Wrist Posture Based on Carpal Tunnel Pressure Thresholds». Em: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 49 (1 2007-02), pp. 88–99. ISSN: 0018-7208. DOI: [10.1518/001872007779598127](https://doi.org/10.1518/001872007779598127). URL: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1518/001872007779598127> (ver p. 29).
- [68] *analogRead() - Documentação de Referência do Arduino*. Último acesso a 27 de Junho de 2022. URL: <https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/analog-io/analogread/> (ver p. 31).
- [69] *Recursos do Android Studio | Desenvolvedores Android | Android Developers*. Último acesso a 27 de Agosto de 2022. URL: <https://developer.android.com/studio/features> (ver p. 35).

- [70] *Cloud Firestore | Armazene e sincronize dados do app em escala global | Firebase*. URL: https://firebase.google.com/products/firestore?gclid=Cj0KCQjwrs2XBhDjARIsAHVymmTpFE7-8-6duYT2nF3s6YbgA2G1AvNoYnL9aY-GP4QHCAodxnkB6qwaApJvEALw_wcB&gclsrc=aw.ds (ver p. 35).
- [71] *Firebase Authentication | Login simples e sem custos financeiros em várias plataformas*. Último acesso a 27 de Agosto de 2022. URL: https://firebase.google.com/products/auth?gclid=CjwKCAjw0dKXBhBPEiwA2bmObWrcE7B05MDVvkK83U6wsKWsNGmjRoedx60NW2mjbJ-QadcxkEcED8hoCJ1UQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds (ver p. 35).
- [72] *System Usability Scale (SUS) | Usability.gov*. Último acesso a 11 de Setembro de 2022. URL: <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html> (ver pp. 38–40).
- [73] *The System Usability Scale & How it's Used in UX | by Andrew Smyk | Thinking Design | Medium*. Último acesso a 11 de Setembro de 2022. URL: <https://medium.com/thinking-design/the-system-usability-scale-how-its-used-in-ux-b823045270b7> (ver p. 39).
- [74] *Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS) – MeasuringU*. Último acesso a 11 de Setembro de 2022. URL: <https://measuringu.com/sus/> (ver p. 39).
- [75] *Questionnaire for User Interface Satisfaction | Digital Healthcare Research*. URL: <https://digital.ahrq.gov/health-it-tools-and-resources/evaluation-resources/workflow-assessment-health-it-toolkit/all-workflow-tools/questionnaire> (ver p. 40).
- [76] J. Kirakowski e M. Corbett. «SUMI: the Software Usability Measurement Inventory». Em: *British Journal of Educational Technology* 24 (3 1993), pp. 210–212. ISSN: 14678535. DOI: 10.1111/J.1467-8535.1993.TB00076.X. URL: https://www.researchgate.net/publication/229675848_SUMI_the_Software_Usability_Measurement_Inventory (ver p. 40).
- [77] *Fixação segura de Mefix para pensos, compressas, cateteres e tubos | Mölnlycke*. Último acesso a 19 de Setembro de 2022. URL: <https://www.molnlycke.pt/produtos-e-solucoes/mefix/> (ver p. 42).
- [78] G. Celosia e M. Cunche. «Fingerprinting Bluetooth-Low-Energy Devices Based on the Generic Attribute Profile». Em: (2019), pp. 24–31. DOI: 10.1145/3338507.3358617. URL: <https://hal.inria.fr/hal-02359914> (ver p. 77).
- [79] *Arduino - AT 09 BLE module - StudioPieters*. Último acesso a 19 de Abril de 2022. URL: <https://www.studiopieters.nl/arduino-at-09-ble-module/> (ver p. 77).

- [80] *GitHub - PhilJay/MPAndroidChart: A powerful Android chart view / graph view library, supporting line- bar- pie- radar- bubble- and candlestick charts as well as scaling, panning and animations.* Último acesso a 12 de Agosto de 2022. URL: <https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart> (ver p. 82).
- [81] E. Dinis et al. «Ortho-Monitorizer: A Portable Device to Monitor Pressure and Temperature During the Use of Upper Limb Orthoses». Em: *SN Computer Science* 4 (1 2022-10), p. 34. ISSN: 2661-8907. DOI: [10.1007/s42979-022-01432-2](https://doi.org/10.1007/s42979-022-01432-2) (ver pp. 88, 98).
- [82] G. Raquel et al. «Ortho-Monitorizer: A Portable Device to Monitor the Use of Upper Limb Orthoses - A Concept Proof - BIOSTEC 2022». Em: 2022, pp. 94–101. URL: <https://www.insticc.org/node/TechnicalProgram/biostec/2022/presentationDetails/110120> (ver pp. 88, 98).

ORTHO-MONITORIZER: A PORTABLE DEVICE
TO MONITOR PRESSURE AND TEMPERATURE
DURING THE USE OF UPPER LIMB ORTHOSES

No presente anexo, está o artigo desenvolvido durante a dissertação, que foi publicado na revista Springer [81]. A oportunidade de escrever este artigo, surgiu no seguimento do artigo escrito na dissertação anterior [82].



Ortho-Monitorizer: A Portable Device to Monitor Pressure and Temperature During the Use of Upper Limb Orthoses

Eduarda Dinis¹ · Raquel Gonçalves¹ · Inês Rodrigues² · Bruno Mendes² · Carla Quintão^{1,3} · Ricardo Vigário^{1,3} · Cláudia Quaresma^{1,3}

Received: 7 June 2022 / Accepted: 23 September 2022
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature Singapore Pte Ltd 2022

Abstract

This article presents Ortho-Monitorizer, a portable device for temperature and pressure monitorization in three pressure points of the upper limb, while a static orthosis is being used. The purpose of this device is to inform healthcare professionals, not only if the patient has been wearing the orthosis for the prescribed time, but also if it is too tight, or if there is any inflammatory reaction, that leads to an increase in local temperature. The data transfer is done through the Bluetooth Low Energy AT-09 module. Data is shown in an Android application and saved in real time in a database. To start the data acquisition, the user just needs to connect the device to a power bank, register in the application, make the Bluetooth connection with the device, and then select the option of the specific characteristic that will save the values measured by the sensors. The Android application is still under development to improve usability. The orthoses used for the acquisitions were created specifically for Carpal Tunnel Syndrome and used for two consecutive days, by two healthy volunteers. Our findings indicate that, although some care is needed during acquisitions, namely in terms of positioning the active areas of the sensors and the internet connection, the device makes acquisitions correctly. It allows us to identify when the person is using the orthosis and the existing pressure differences. Therefore, in the future this prototype could be incorporated into a clinical setting, to allow therapists to monitor compliance and prevent pressure ulcers and wounds.

Keywords Rehabilitation · Orthosis · Monitoring · Temperature · Pressure · Upper-limb · Bluetooth Low Energy

This article is part of the topical collection “Advances on Biomedical Engineering Systems and Technologies” guest edited by Hugo Gamboa, Ana Fred, Ana Roque, Denis Gracanic, Ronny Lorenz, Athanasios Tsanas and Nathalie Bier.

✉ Eduarda Dinis
e.dinis@campus.fct.unl.pt

Raquel Gonçalves
rdi.goncalves@campus.fct.unl.pt

Inês Rodrigues
ines.sr@gmail.com

Bruno Mendes
mendes.bp@gmail.com

Carla Quintão
cmquintao@fct.unl.pt

Ricardo Vigário
r.vigario@fct.unl.pt

Introduction

There are millions of people around the world that are affected by rheumatological pathologies [1]. Several problems can cause rheumatological pathologies, one of them is the deterioration of joints, muscles, and bones [2]. As these pathologies compromise the biomechanics of the

Cláudia Quaresma
q.claudia@fct.unl.pt

- 1 Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal
- 2 Área de Medicina Física e Reabilitação, Hospital Curry Cabral, Centro Hospitalar Lisboa Central, Caparica, Portugal
- 3 Faculdade de Ciências e Tecnologia, LIBPhys-UNL, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal

musculoskeletal system, orthoses are used, namely, to reduce pain inherent to movement, inflammation, support joints, reduce deforming forces, and stretch tendons tight [3].

One of the most common neuropathies is Carpal Tunnel Syndrome, which causes compression or irritation of the median nerve in the wrist. People that suffer from this condition usually complain of numbness and tingling in the area where this nerve is [4]. Surgery is recommended for severe cases while more conservative treatments are used in mild to moderate cases. A wrist orthosis is widely used because it minimizes carpal tunnel pressure [5].

Unfortunately, patient's compliance with orthoses is low, often due to an inadequate use which can lead to the appearance of ulcers [6].

To improve the effectiveness of the orthosis, it is important to monitor the patient's compliance and understand whether the orthosis is too tight through pressure points. Inflammatory reactions may also occur; therefore, temperature variations should also be monitored [7]. However, many of the current devices do not allow a quantitative assessment of patients compliance. The correct placement of the orthosis is also something that is not monitored in an objective way, namely regarding pressure points [8].

Regarding the upper limb, recent studies are scarce and there is only pressure monitoring [6, 9]. If we only measure the pressure, we cannot distinguish an individual who is using the orthosis very loosely, from an individual who has not placed it.

Temperature allows us to determine if the individual is using the orthosis but does not allow us to quantify how well it is placed, that is if it is too tight or too loose [10]. With the device of this study, we seek to fill these gaps by monitoring both.

According to Tan [9] it is necessary to consider three critical points, to avoid discomfort when using orthoses without thumb stabilization: at the most prominent point of the *abductor digiti minimi*, at the distal end of the ulna, and at the distal end of the radius. These were the three points used in the data acquisition.

Ortho-Monitorizer

The Ortho-Monitorizer was developed in collaboration with the Department of Physical Medicine and Rehabilitation: Hospital Curry Cabral—Centro Hospitalar de Lisboa Central. The main purpose of this device is to allow quantitative, continuous and simultaneous monitoring of patient's compliance when using an orthosis (wearing time), as well as the pressure and temperature values associated with the use of the orthosis in three pressure points of the upper limb.

The device consists of an Arduino® UNO R3 which is based on the ATmega328P microcontroller, three resistive force sensors and three temperature sensors.

Since sensors with a high thickness could increase pressure in a certain area, which can lead to wounds, pressure values are measured using three FSR-400 sensors. These sensors were chosen because they present a small thickness (0.3 mm), they are manufactured using flexible materials, have good shock resistance, low unit cost and need simple conditioning circuits.

For the choice of temperature sensors, four types were compared: integrated circuits (ICs), resistance temperature detectors (RTDs), thermistors and thermocouples. All of them had the desired input range. However, having good accuracy was important, as it would be necessary to detect small temperature variations that could indicate tissue damage. Although the ICs were the first choice, there were no resources to solder the wires to the different pins of the ICs because of their small dimensions.

Consequently, the temperature values are measured using three B57164K0472J000 thermistors. These sensors have an adequate size, the input range allows measuring the desired values, they are low cost, easy to implement and already have a calibration curve that facilitates the conversion of the voltage values obtained using the Arduino to temperature values.

Attached to the Arduino is a perforated plate with the electronics necessary for the device to work.

This includes a power supply circuit, the AT-09 Bluetooth Low Energy module, a voltage divider converter followed by a $1.5\times$ amplification circuit to implement the temperature sensors and a current-to-voltage converter for pressure sensors. This part can be analysed in detail in the previous article [11].

To start acquisition the user needs to connect the Ortho-Monitorizer to a power bank (Fig. 1) and select the appropriate options in the Android app.

Data Transfer

To continue the work done previously [11], it was necessary to program the Arduino® to send the values collected by the pressure and temperature sensors, through the Bluetooth Low Energy module.

After the Bluetooth connection is established, an Android application shows the values received in real time to the user and save these values in a database.

Generic Attribute Profile—GATT

Bluetooth Low Energy data is presented through a hierarchical structure of attributes, the Generic Attribute Profile.

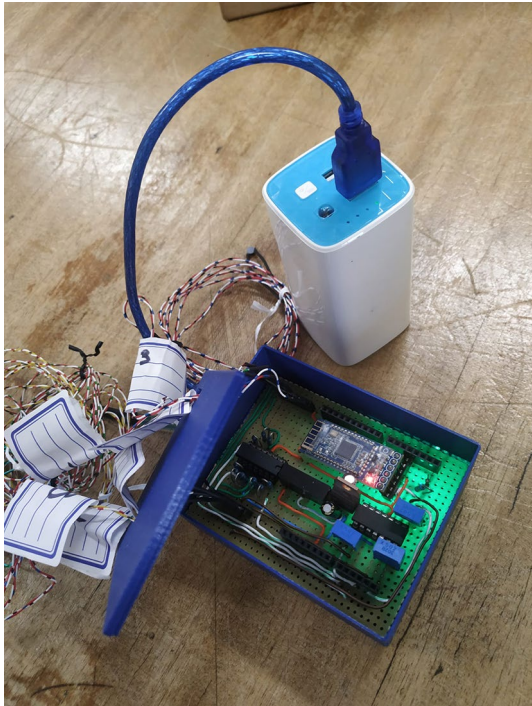


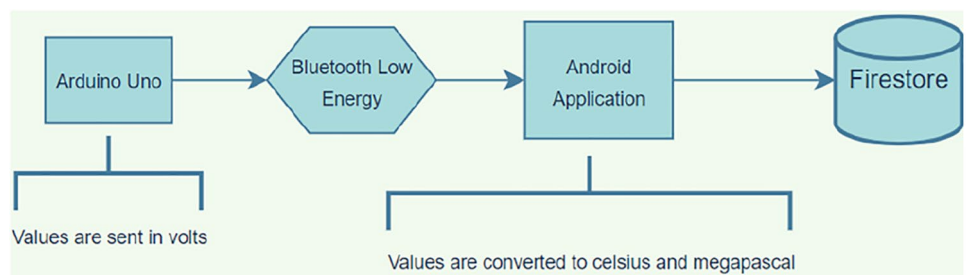
Fig. 1 Ortho-Monitorizer connected to a power-bank

Attributes can be services or characteristics and each one of them is identified by a universally unique identifier (UUID). Each service can have one or more characteristics. Characteristics have a value that contains the data that is transferred, and a set of properties that define if the characteristic can be read, written, or both [12].

The Bluetooth Low Energy module used in the device is the AT-09 and this module only has one service that contains only one characteristic to read or write data when it is configured as a peripheral.

This characteristic can store a maximum of 20 bytes of data. Since the module only allows us to use one characteristic, and we have six sensors, the initial approach was to send all the values in a string separated by semicolons. Unfortunately, as the conversions of the values from volt to celsius and megapascal exceeded 20 bytes, the values were not all sent, and the string was truncated.

Fig. 2 Flowchart of the current system



To solve the problem and considering that without the conversions it was possible to send the values of the six sensors in volts, an algorithm was created to separate the string in the application, convert the values to celsius and megapascal and save the values in a database.

Therefore, values are sent from Arduino® in volts and all conversions are done in the application. The flowchart presented in Fig. 2 shows the process from measurement to save the values in the database.

Cloud Firestore

Cloud Firestore is a cloud-hosted NoSQL database that can be used in mobile development and belongs to one of the services provided by Firebase. All the data registered by the app users as well as the sensor values are stored in this database. Data is stored in documents and can be of different types like strings, numbers, Booleans... A group of documents that contains the same fields belongs to a collection. The Firefox tool was used to export data to CSV format.

Materials and Methods

Two customized static orthoses were created for the left upper limb of the two study volunteers using the traditional method (Figs. 3, 4).

The orthoses made are specific for Carpal Tunnel Syndrome and the material used was a low-temperature thermo-plastic (Turbocast Ortho®) with a thickness of 1.6 mm. The



Fig. 3 Posterior view of the orthosis



Fig. 4 Anterior view of the orthosis

material was cut according to the arm shape and placed into a temperature-controlled water bath. After it was softened it was moulded in the arm. Finally, after hardening, Velcro was placed to tighten the orthosis.

Data were collected by two volunteers using the Android app and a power bank attached to the device. The results were saved in the database and exported to a CSV file because this part of the app is still under development. The three pressure points were marked with a pen on the skin. For identification purposes, the most prominent point of *abductor digiti minimi*, was considered as pressure point “1”; the distal end of the radius, near the anatomic snuffbox, was considered as pressure point “2”, and the end of the ulna, as pressure point “3” (Fig. 5). Then the temperature sensors were placed followed by the pressure sensors using a self-adhesive fabric (Fig. 6).

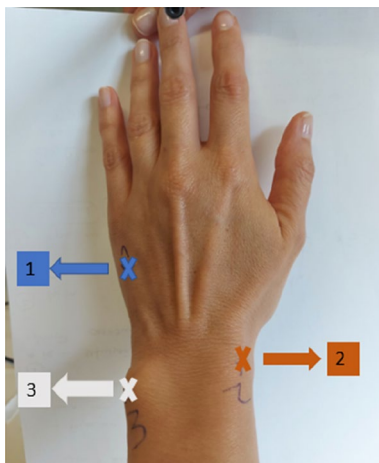


Fig. 5 Hand marked with the points where the sensors were placed. 1—Most prominent point of *abductor digiti minimi*, 2—Distal end of radius and near the anatomic snuffbox, 3—End of ulna



Fig. 6 Pressure and temperature sensors placed in the upper limb

Results

This section presents the results obtained and is divided according to the volunteer from which the results belong.

Case 1

The first volunteer used the orthosis for two consecutive days. On the first day, the orthosis was used from 9:38 to 11:03 A.M. and from 13:37 to 16:03 P.M. Around 11:04 A.M. the orthosis and the sensors were removed, but the volunteer kept the device recording until around 12:00 A.M. and then the device was disconnected until 13:37 P.M.

Observing the graph (Fig. 7) the temperatures registered in the three points are very similar.

The mean and the standard deviation obtained from one- to three-time series between 9:38 and 11:03 A.M. is, respectively (32.9 ± 0.3 °C), (32.9 ± 0.2 °C), (32.6 ± 0.5 °C). Between 11:04 and 12:00 A.M. is, respectively (24.5 ± 0.5 °C), (24.3 ± 0.5 °C), (24.6 ± 0.3 °C) (Table 1).

During the afternoon period, the values are identical to the ones from 9:38 to 11:03 A.M. This is normal because there is no inflammatory reaction in any of the points. As the sensors were removed from 11:04 to 12:00 A.M. there was a decrease of temperature to environmental temperature (around 24 °C).

Regarding pressure values (Fig. 8) overall, pressure in point 2 is the highest and in point 1 the lowest.

During the first period of acquisitions, the mean and the standard deviation, for pressure point 1, only considering values above 0, is (0.017 ± 0.004 MPa), for point 2 (0.030 ± 0.008 MPa), and for point 3 (0.022 ± 0.007 MPa). From 13:37 to 16:03 P.M. the mean and standard deviation for point 1 is (0.013 ± 0.002 MPa), for point 2 is (0.034 ± 0.011 MPa) and for point 3 is (0.019 ± 0.005 MPa) (Table 2).

Fig. 7 Temperature values obtained from 9:38 A.M. to 16:03 P.M. at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* (1), at the distal end of the radius and near the anatomic snuffbox (2) and at the end of the ulna (3)

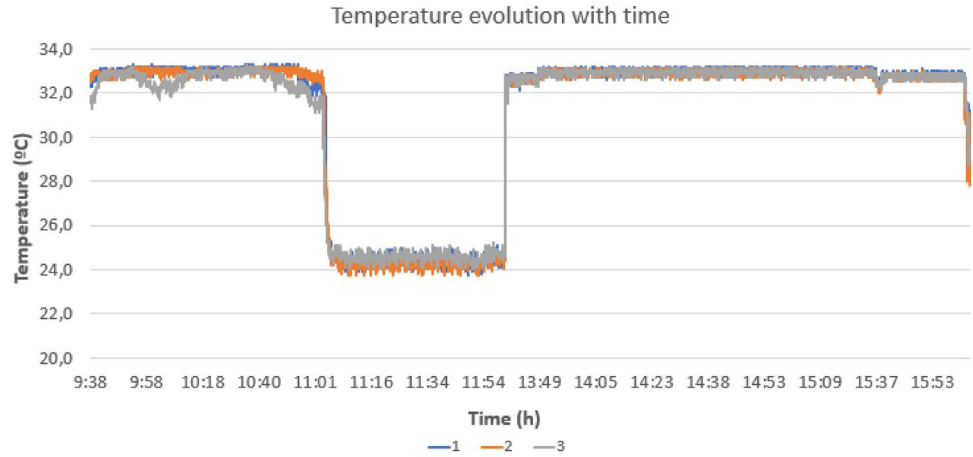


Table 1 Temperature mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 and during the first day of acquisitions

Day 1	T(°C) 1	T(°C)2	T(°C)3
9:38–11:03 A.M.	32.9 ± 0.3	32.9 ± 0.2	32.6 ± 0.5
11:04–12:00 A.M.	24.5 ± 0.5	24.3 ± 0.5	24.6 ± 0.3
13:37–16:03 P.M.	32.9 ± 0.3	32.9 ± 0.4	32.9 ± 0.3

Table 2 Pressure mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 and during three time periods of the acquisition

Day 1	P(MPa) 1	P(MPa) 2	P(MPa) 3
9:38–11:03 A.M.	0.017 ± 0.004	0.030 ± 0.008	0.022 ± 0.007
11:04–12:00 A.M.	–	–	–
13:37–16:03 P.M.	0.013 ± 0.002	0.034 ± 0.011	0.019 ± 0.005

These values were calculated only considering pressure values above 0

From 11:00 to 12:00 A.M. the pressure values drooped to 0 which is consistent with the removal of the sensors. As these recordings were done both with the arm still and performing daily tasks there were slight arm movements inside the orthosis, which can explain the big variations in the pressure values. It was perceived by this volunteer by seeing the measured values in the app that with some positions of the arm the pressure would be zero, probably because in that position the contact with the sensor would be very small. The impact of this “0” values in the results can be seen in Table 3. The pressure point most affected is the most

Table 3 Pressure mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 and during three time periods of the acquisition. These values were calculated considering all pressure values

Day 1	P(MPa) 1	P(MPa) 2	P(MPa) 3
9:38–11:03 A.M.	0.008 ± 0.009	0.029 ± 0.010	0.021 ± 0.009
11:04–12:00 A.M.	–	–	–
13:37–16:03 P.M.	0.002 ± 0.005	0.032 ± 0.013	0.015 ± 0.008

Fig. 8 Pressure values obtained from 9:38 A.M. to 16:00 P.M. at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* (1), at the distal end of the radius and near the anatomic snuffbox (2) and at the end of the ulna (3)

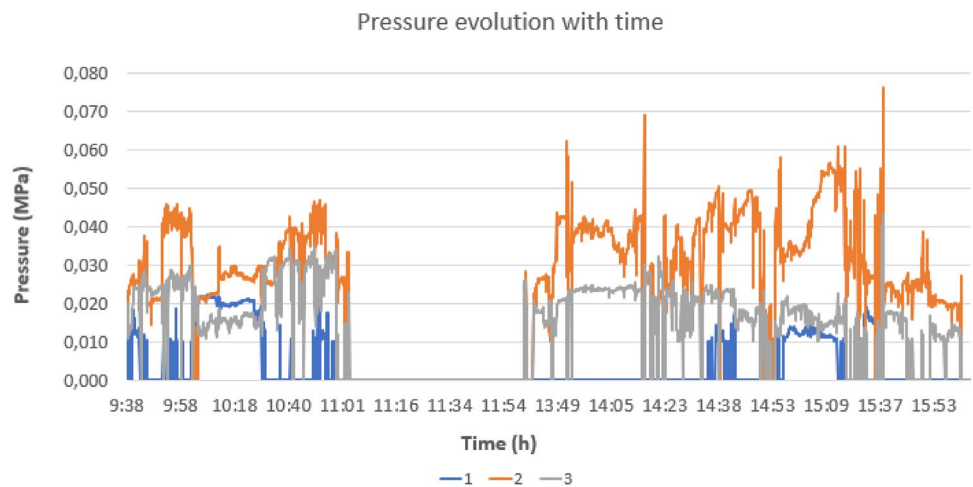
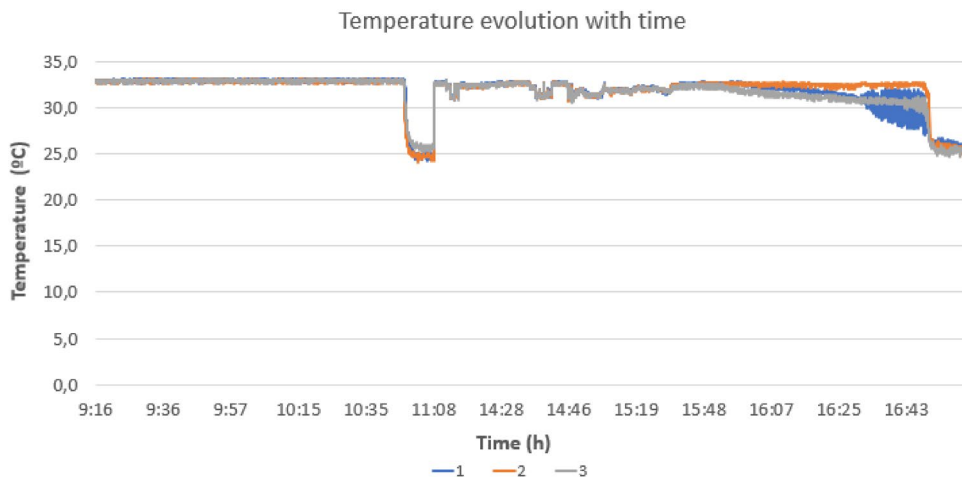


Fig. 9 Temperature values obtained on the second day from 9:16 A.M. to 16:59 P.M. at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* (1), at the distal end of the radius and near the anatomic snuffbox (2) and at the end of the ulna (3)



prominent point of the *abductor digiti minimi* where contact pressure is the lowest.

On the second day, the orthosis was used from 9:16 to 11:01 A.M. and then from 14:00 to 16:49 P.M. Between 11:02 and 11:08 A.M. and between 16:50 and 16:59 P.M. the sensors were removed from the skin, but the device was kept connected. Regarding the temperature, the results are like the first day. Temperatures are very close and when

the sensors are removed, they drop to environmental temperature. There is a greater variation in the temperature values at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* between 16:30 and 16:50 P.M. This happened because the active area of the sensor was displaced from the skin during successive moments during this period, because of movements made with the arm (Fig. 9). As a result, it is very important to make sure the active area of the sensors keeps in the same place throughout the acquisition time.

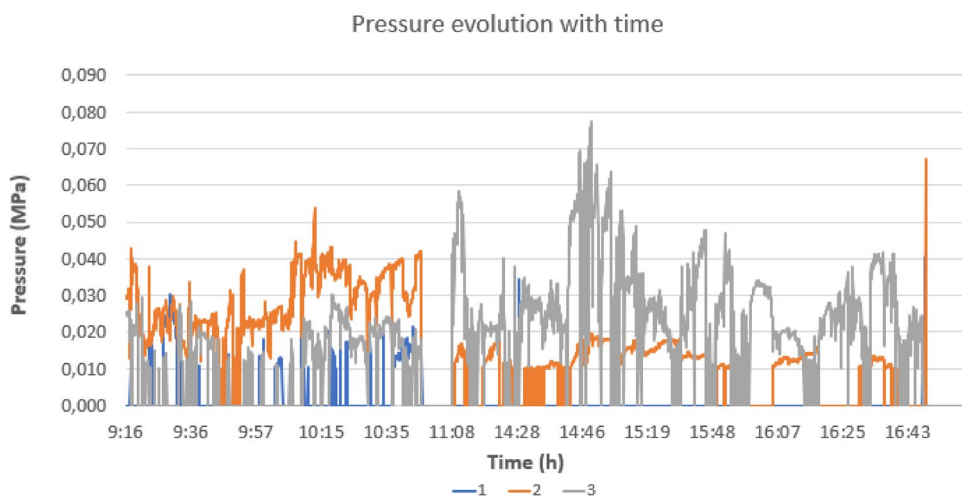
Table 4 Temperature mean and standard deviation, for the second day of acquisitions

Day 2	T (°C) 1	T (°C) 2	T (°C) 3
9:16–11:01 A.M.	33.0 ± 0.2	32.9 ± 0.4	32.9 ± 0.2
11:02–11:08 A.M.	25.4 ± 0.8	24.8 ± 0.4	26.0 ± 0.6
14:00–16:49 P.M.	31.9 ± 0.9	32.3 ± 0.5	31.7 ± 0.8
16:50–16:59 P.M.	26.0 ± 0.3	25.8 ± 0.3	25.4 ± 0.3

The mean and the standard deviation obtained from one- to three-time series are presented in Table 4. The range of values is similar to the range obtained during the first day.

Regarding pressure, during the morning period (Fig. 10) again, pressure in point 2 is the highest and in point 1 the lowest. However, during the afternoon because the volunteer tightened zone 3 more than in the morning. Between 11:00 AM and 11:08 AM and also between 16:49 and 16:59 P.M. pressure values dropped to 0 which is consistent with the sensors removal. It can also be seen that

Fig. 10 Pressure values obtained on the second day from 9:16 A.M. to 16:59 P.M. at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* (1), at the distal end of the radius and near the anatomic snuffbox (2) and at the end of the ulna (3)



during almost all the afternoon period the pressure at pressure point 1 was 0. This is evident considering the results shown in Table 5. This zone is the one with less contact pressure, but this probably happened because the sensor was displaced without the volunteer realizing it. The mean and the standard deviation obtained only considering values above 0 are presented in Table 6. Overall standard deviation is biggest at pressure point 2 and 3 because there is more movement in those areas.

Case 2

The second volunteer also used the orthosis for two consecutive days but during smaller periods of time. On the first

Table 5 Pressure mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 for the second day of acquisitions. These values were calculated considering all pressure values

	P(MPa) 1	P(MPa) 2	P(MPa) 3
9:16–11:01 A.M.	0.003 ± 0.007	0.027 ± 0.010	0.010 ± 0.010
11:02–11:08 A.M.	–	–	–
14:00–16:49 P.M.	0.000 ± 0.001	0.009 ± 0.007	0.025 ± 0.015
16:50–16:59 P.M.	–	–	–

Table 6 Pressure mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 for the second day of acquisitions

Day 2	P(MPa) 1	P(MPa) 2	P(MPa) 3
9:16–11:01 A.M.	0.017 ± 0.005	0.029 ± 0.008	0.018 ± 0.005
11:02–11:08 A.M.	–	–	–
14:00–16:49 P.M.	0.027 ± 0.013	0.013 ± 0.003	0.028 ± 0.012
16:50–16:59 P.M.	–	–	–

These values were calculated only considering pressure values above 0

day, the orthosis was used from 13:44 to 17:41 P.M. As this volunteer could only use a 4G mobile network, there were some problems with the internet connection that stopped the data from being recorded in the database. This happened from 14:14 to 15:51 P.M., 15:57 to 16:32 P.M. and 16:33 to 17:39 P.M.

As a result, the time scale, and the number of labels on the x axis, are different from the ones in “Case 1” for both acquisition days.

Between 12:55 and 13:19 P.M., the results cannot be considered because the device was being tested and the sensors were not placed in the upper limb. It can also be seen that the temperature sensor that belonged to pressure point 3 was not connected to the device around 12:55 PM (Fig. 11).

The mean and the standard deviation obtained from one- to three-time series only considering the values from 13:44 P.M. are presented in Table 7. The temperature at the three pressure points is very similar to the temperature values recorded by the first volunteer. There is a slight decrease in temperature around 14:03 P.M. and at end of the recording when the sensors were removed.

Pressure values are higher at pressure point 2 and lower at pressure point 1. The variations between the pressure at point 2 and pressure at point 3 are lower in this case (Fig. 12).

Table 7 Temperature mean and standard deviation, for the first day of acquisitions

Day 1	T(°C) 1	T(°C) 2	T(°C) 3
13:44–14:02 P.M.	33.0 ± 0.4	32.9 ± 0.4	32.9 ± 0.3
14:03–14:05 P.M.	29.7 ± 1.1	29.5 ± 1.1	30.5 ± 0.9
15:51–17:40 P.M.	32.3 ± 0.9	32.7 ± 0.4	32.6 ± 0.5
17:40–17:41 P.M.	28.0 ± 1.4	30.9 ± 0.9	30.2 ± 0.8

Fig. 11 Temperature values obtained from 12:55 P.M. to 17:41 P.M. at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* (1), at the distal end of the radius and near the anatomic snuffbox (2) and at the end of the ulna (3). The only values to be considered are the ones from 13:44 to 17:41 P.M.

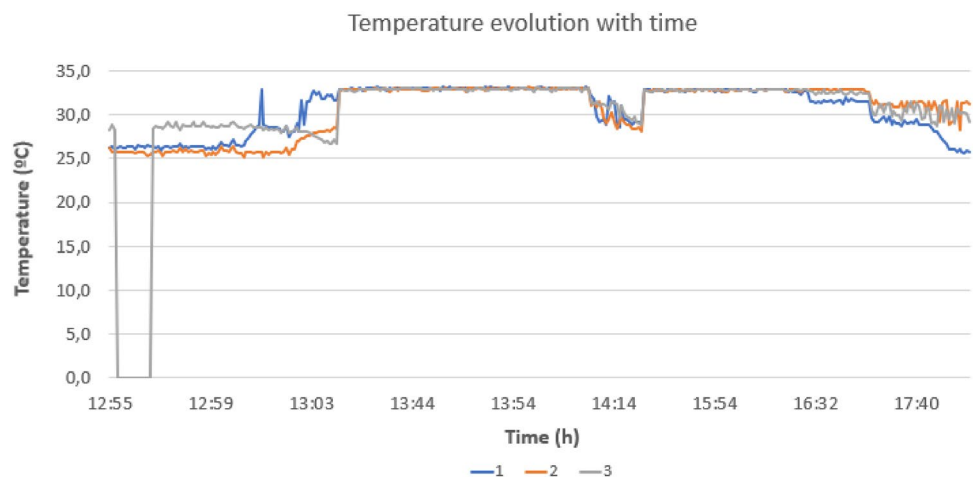
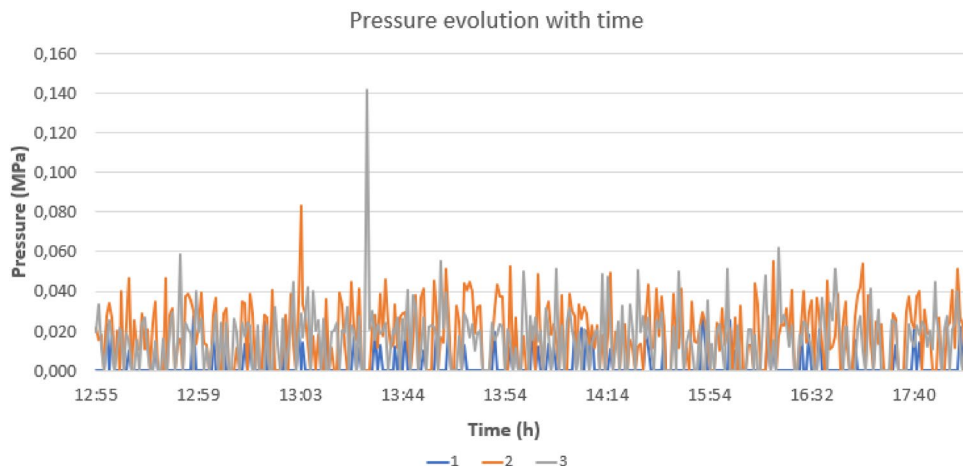


Fig. 12 Pressure values obtained from 12:55 to 16:59 P.M. at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* (1), at the distal end of the radius and near the anatomic snuffbox (2) and at the end of the ulna (3). The only values to be considered are the ones from 13:44 to 17:41 P.M.



The mean and the standard deviation obtained from one- to three-time series only considering pressure values above 0 are presented in Table 8.

Pressure point 1 is still the one with less contact pressure and the other one with the biggest. Considering all values as shown in Table 9, the mean decreases, especially in pressure point 1 which is the one that records more “0” values.

On the second day of acquisitions the second volunteer used the orthosis from 14:30 to 16:33 P.M. However due to problems with the internet connection there are no recordings in the database from 14:31 to 15:10 P.M., 15:10 to 15:34 P.M. and 15:56 to 16:30 P.M. During this recording there was less variability in the temperature values because the voluntary did not remove the sensors throughout

the acquisition period and also because the arm was kept steady, so the active area of the sensor did not move inside the orthosis (Fig. 13).

The mean and the standard deviation obtained from one- to three-time series are, respectively: $(33.1 \pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C})$, $(33.2 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C})$, $(33.2 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C})$, (Table 10).

Pressure values are consistent with the values presented previously, although there is a peek (0.14 MPa) possibly because of some involuntary hand movement (Fig. 14).

The mean and the standard deviation obtained from one- to three-time series are, considering the values above 0, presented in Table 11.

The mean and the standard deviation obtained from one- to three-time series are, considering all values, presented in Table 12.

Again, considering all values the mean decreases because there are a lot of “0” values mostly in pressure point 1.

Table 8 Pressure mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 during day 1 of acquisitions

Day 1	P(MPa) 1	P(MPa) 2	P(MPa) 3
13:44–14:02 P.M.	0.016 ± 0.004	0.029 ± 0.011	0.025 ± 0.018
14:03–14:05 P.M.	0.016 ± 0.008	0.021 ± 0.010	0.027 ± 0.019
15:51–17:40 P.M.	0.018 ± 0.005	0.025 ± 0.012	0.025 ± 0.018
17:40–17:41 P.M.	0.017 ± 0.004	0.029 ± 0.009	0.022 ± 0.017

These values were calculated only considering pressure values above 0

Table 9 Pressure mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 during day 1 of acquisitions

Day 1	P(MPa) 1	P(MPa) 2	P(MPa) 3
13:44–14:02 P.M.	0.004 ± 0.007	0.019 ± 0.017	0.017 ± 0.019
14:03–14:05 P.M.	0.002 ± 0.006	0.014 ± 0.013	0.016 ± 0.019
15:51–17:40 P.M.	0.002 ± 0.007	0.018 ± 0.015	0.015 ± 0.019
17:40–17:41 P.M.	0.002 ± 0.006	0.017 ± 0.016	0.015 ± 0.018

These values were calculated considering all pressure values

Conclusions and Future Work

This article presents data acquisitions using a portable device that monitors temperature and pressure in three pressure points of the upper limb. These values are measured using three pressure sensors and three temperature sensors, while a static orthosis is being used. The data is received through a Bluetooth Low Energy connection shown at a smartphone Android Application and saved in a database.

The study developed by Tan [6] sought to analyse the main critic pressure points using a thumbless hand stabilization orthosis, which is the same type of orthosis used for this study. Although the techniques used in Tan’s study, to create the orthosis, were not used in this study, and the sensors are different, this was one of the few studies that presented a range of values that could be used for reference.

Fig. 13 Temperature values obtained on the second day from 14:29 to 16:33 P.M. at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* (1), at the distal end of the radius and near the anatomic snuffbox (2) and at the end of the ulna (3)

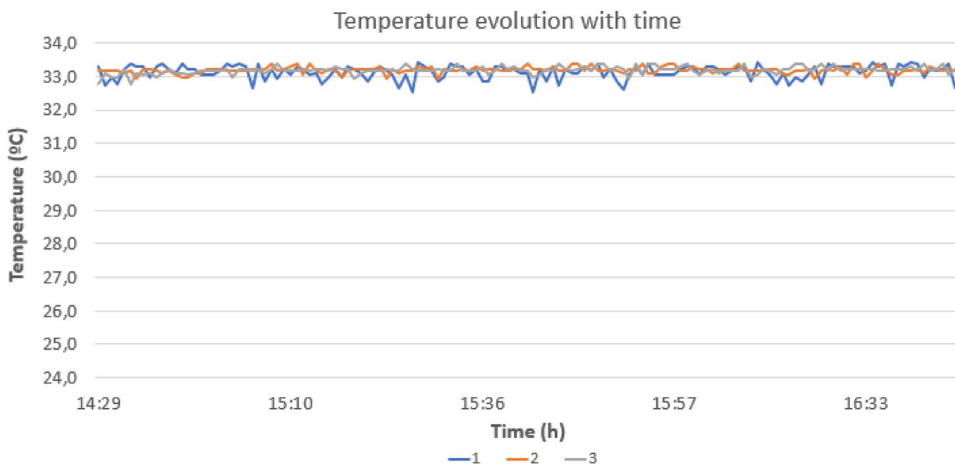


Table 10 Temperature mean and standard deviation, for the second day of acquisitions

Day 2	T(C) 1	T(C) 2	T(C) 3
14:29–16:33 P.M.	33.1 ± 0.2	33.2 ± 0.1	33.2 ± 0.1

Overall, the pressure values obtained are consistent with the ones obtained by Tan [6], and within the range of values of the pressure sensor [11]. The differences in pressure values between the three points reflects the different pressures existing at each one of the points.

We can also conclude that in general pressure at point 2, presented the highest values, although there were pressure peaks at point 3. This can be identified by the amplitude increase of the sensor. If the force distribution in the active area of the sensor is not consistent, and as uniform as possible, there is a large fluctuation in the values. Therefore, it is important to make sure that the pressure sensors do not move inside the orthosis.

The temperature values are, as expected, close to each other and their temporal variation is compatible with what

Table 11 Pressure mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 during day 2 of acquisitions

Day 2	P(MPa) 1	P(MPa) 2	P(MPa) 3
14:29–16:33 P.M.	0.018 ± 0.005	0.030 ± 0.011	0.024 ± 0.015

These values were calculated only considering pressure values above 0

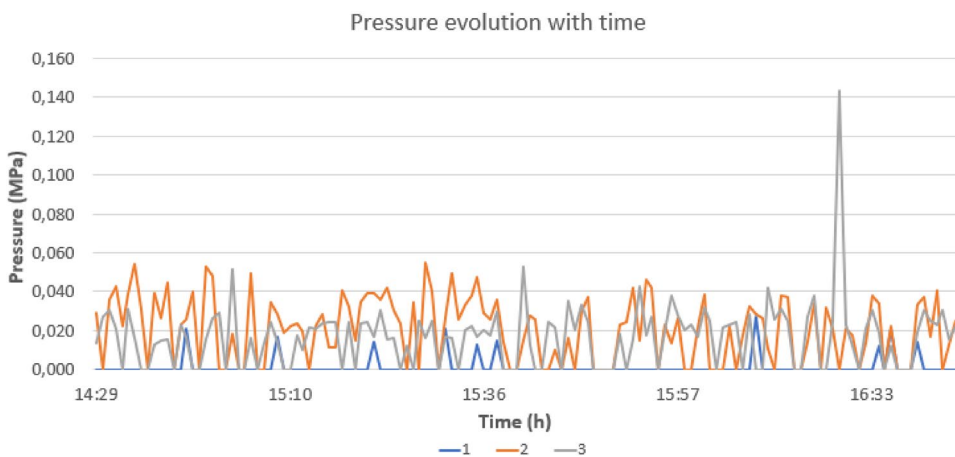
Table 12 Pressure mean and standard deviation from pressure point 1 to 3 during day 2 of acquisitions

Day 2	P(MPa) 1	P(MPa) 2	P(MPa) 3
14:29–16:33 P.M.	0.001 ± 0.005	0.020 ± 0.017	0.017 ± 0.017

These values were calculated considering all pressure values

would be expected. The range of temperature values is also consistent with the values expected for the arm in hot environments. As mentioned for pressure sensors, also in the case of temperature sensors, they must be kept as still as possible inside the orthosis.

Fig. 14 Pressure values obtained on the second day from 14:29 to 16:33 P.M. at the most prominent point of the *abductor digiti minimi* (1), at the distal end of the radius and near the anatomic snuffbox (2) and at the end of the ulna (3)



There were problems with the internet connection when the second volunteer was recording that decreased the amount of data recorded. The next steps are continuing to develop the Android application to allow therapists to monitor patient compliance, misplacement of the orthosis and inflammatory reactions.

If the temperature range is within the expected range for the arm and considering the month of the year and the ambient temperature, compliance can be monitored.

During summer, environmental temperatures can be higher and close to the normal upper limb temperature, which makes compliance more difficult to access the adhesion with only temperature data, therefore, it is also important to measure the pressure.

As the device can detect pressure and temperature variations this will help to detect risk situations earlier, like ulcer formation and inflammatory reactions.

Acknowledgements The authors would like to thank all the health-care professionals of Hospital Curry Cabral—Centro Hospitalar Lisboa Central.

Funding This research was supported in part by Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, through the research center Grants No. UIDB/FIS/04559/2020 and No. UIDP/FIS/04559/2020 (LIBPhys), from FCT/MCTES, Portugal.

Declarations

Conflict of Interest The authors declare that they have no conflict of interest.

References

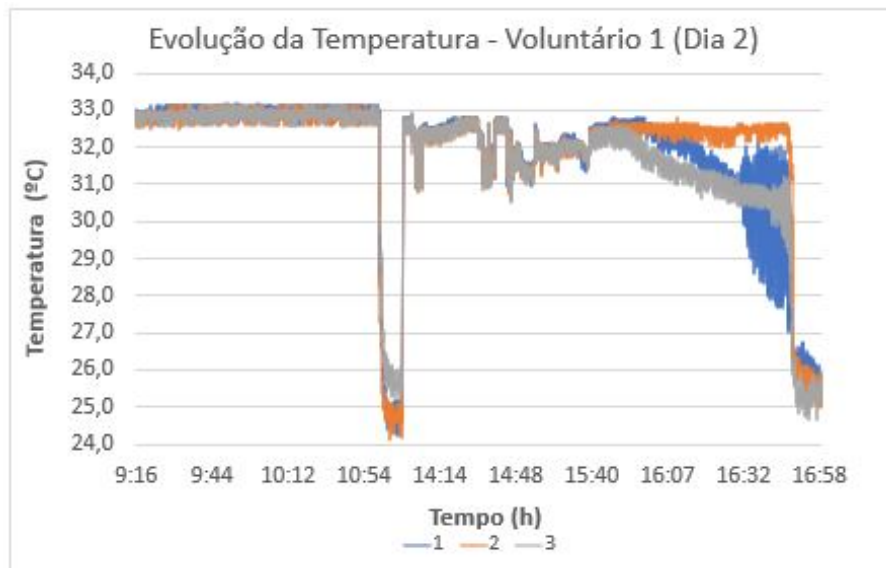
- al Maini M, et al. The global challenges and opportunities in the practice of rheumatology: white paper by the World Forum on Rheumatic and Musculoskeletal Diseases. *Clin Rheumatol*. 2015;34(5):819–29. <https://doi.org/10.1007/S10067-014-2841-6>.
- Burrow JG, Rome K, Padhiar N, Neale D. Neale's disorders of the foot and ankle. 9th ed. Elsevier; 2020.
- Hicks JE, Leonard JA, Nelson VS, Fisher SV, Esquenazi A. Orthotic management of selected disorders. *Arch Phys Med Rehabil*. 1989;70(5):S210–7. [https://doi.org/10.1016/0003-9993\(89\)90033-6](https://doi.org/10.1016/0003-9993(89)90033-6).
- Page MJ, Massy-Westropp N, O'Connor D, Pitt V. Splinting for carpal tunnel syndrome. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010003>.
- Celik B, Paker N, Celik EC, Bugdayci DS, Ones K, Ince N. The effects of orthotic intervention on nerve conduction and functional outcome in carpal tunnel syndrome: a prospective follow-up study. *J Hand Ther*. 2015;28(1):34–8. <https://doi.org/10.1016/J.JHT.2014.07.008>.
- Tan X, He L, Cao J, Chen W, Nanayakkara T. A soft pressure sensor skin for hand and wrist orthoses. *IEEE Robot Autom Lett*. 2020;5(2):2192–9. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2970947>.
- Tracy RP. The five cardinal signs of inflammation: Calor, Dolor, Rubor, Tumor ... and Penuria (apologies to Aulus Cornelius Celsus, *De medicina*, c. A.D. 25). *J Gerontol Ser A*. 2006;61(10):1051–2. <https://doi.org/10.1093/GERONA/61.10.1051>.
- Benish BM, Smith KJ, Schwartz MH. Validation of a miniature thermochron for monitoring thoracolumbosacral orthosis wear time. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(4):309–15. <https://doi.org/10.1097/BRS.0B013E31821E1488>.
- Tan X, Ahmed-Kristensen S, Cao J, Zhu Q, Chen W, Nanayakkara T. A soft pressure sensor skin to predict contact pressure limit under hand orthosis. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2021;29:536–45. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3059015>.
- Chalmers E, Lou E, Hill D, Zhao HV. An advanced compliance monitor for patients undergoing brace treatment for idiopathic scoliosis. *Med Eng Phys*. 2015;37(2):203–9. <https://doi.org/10.1016/J.MEDENGPY.2014.12.010>.
- Raquel G, Carla Q, Ricardo V and Cláudia Q. Ortho-Monitorizer: a portable device to monitor the use of upper limb orthoses—a concept proof—BIOSTEC 2022. In: Proceedings of the 15th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies, BIOSTEC 2022, Volume 1: BIODEVICES, Online Streaming, February 9–11, 2022, pp. 94–101.
- Celosia G and Cunche M. Fingerprinting bluetooth-low-energy devices based on the generic attribute profile. In: *IoT S and P 2019—Proceedings of the 2nd International ACM Workshop on Security and Privacy for the Internet-of-Things*, 2019; pp. 24–31. <https://doi.org/10.1145/3338507.3358617>.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

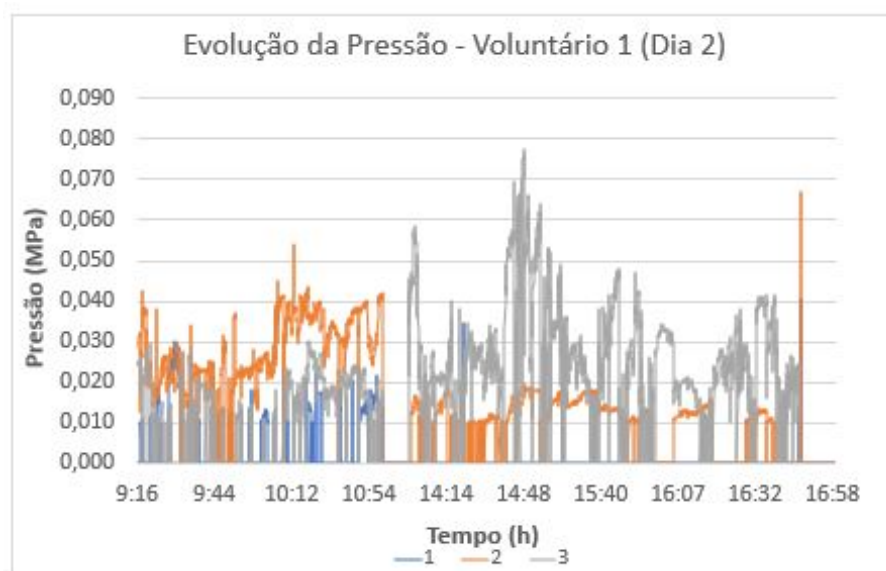
Springer Nature or its licensor holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.

GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO
CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES



(a)



(b)

Figura II.1: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 9:16 e as 16:58 para o voluntário 1 no segundo dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

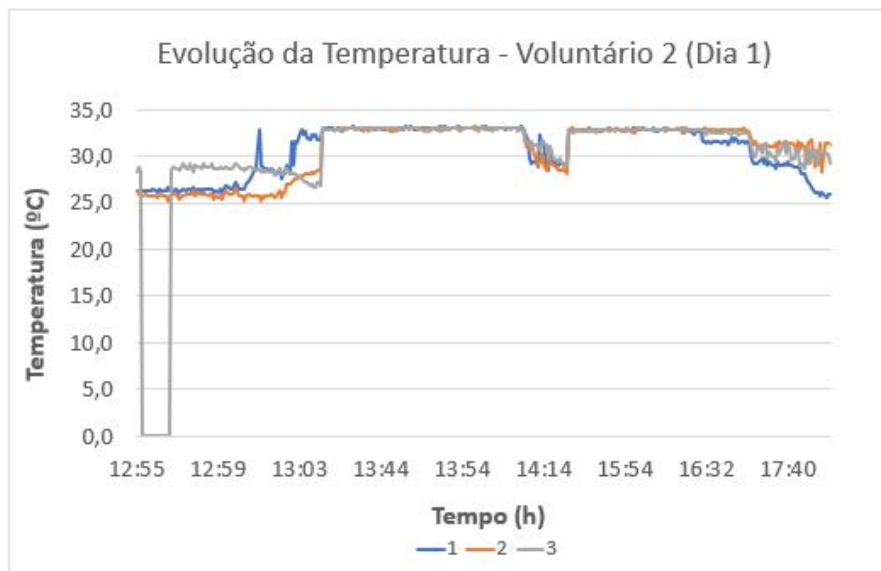
Tabela II.1: Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, para o voluntário 1, no segundo dia de aquisições.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
9:16 - 11:01	(33,0 ± 0,2)	(32,9 ± 0,4)	(32,9 ± 0,2)
11:02 - 11:08	(25,4 ± 0,8)	(24,8 ± 0,4)	(26,0 ± 0,6)
14:00 - 16:49	(31,9 ± 0,9)	(32,3 ± 0,5)	(31,7 ± 0,8)
16:50 - 16:59	(26,0 ± 0,3)	(25,8 ± 0,3)	(25,4 ± 0,3)

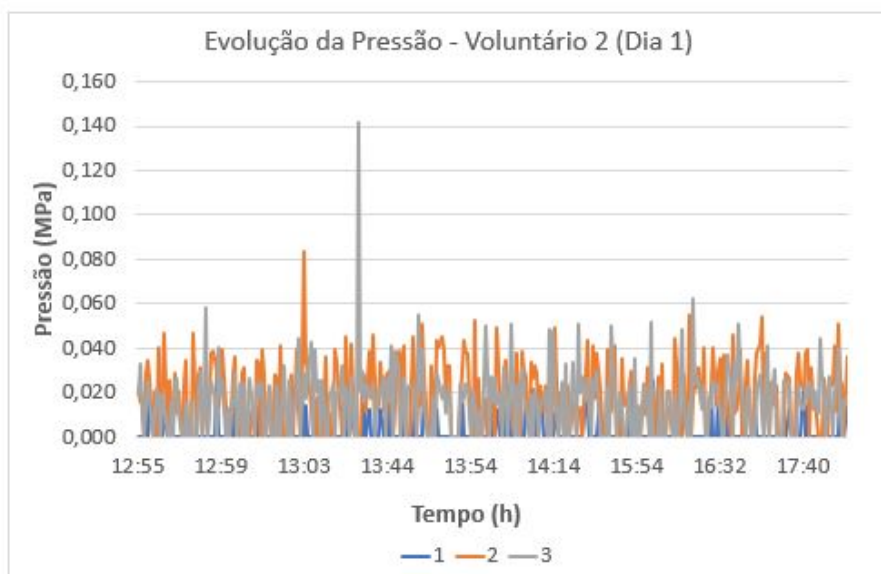
Tabela II.2: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 1, no segundo dia de aquisições.

Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
9:16 - 11:01	(0,017 ± 0,005)	(0,029 ± 0,008)	(0,018 ± 0,005)
11:02 - 11:08	0	0	0
14:00 - 16:49	(0,027 ± 0,013)	(0,013 ± 0,003)	(0,028 ± 0,012)
16:50 - 16:59	0	0	0

ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

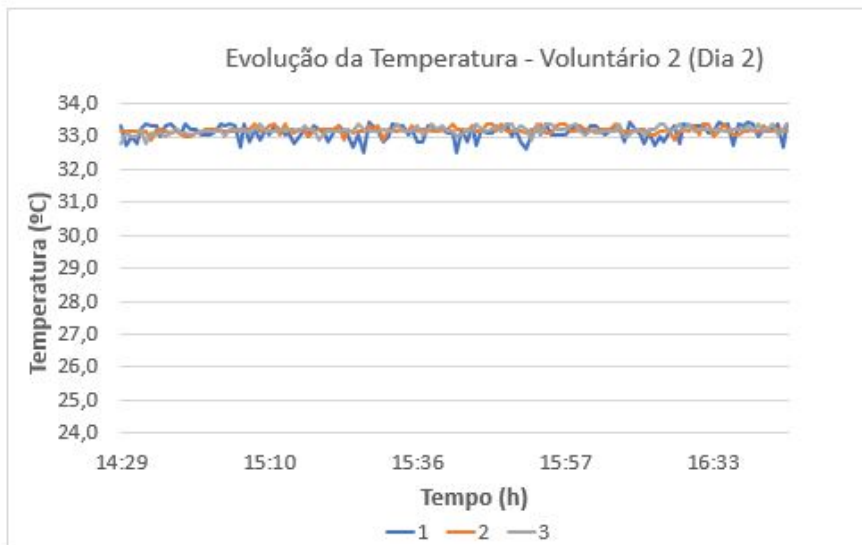


(a)

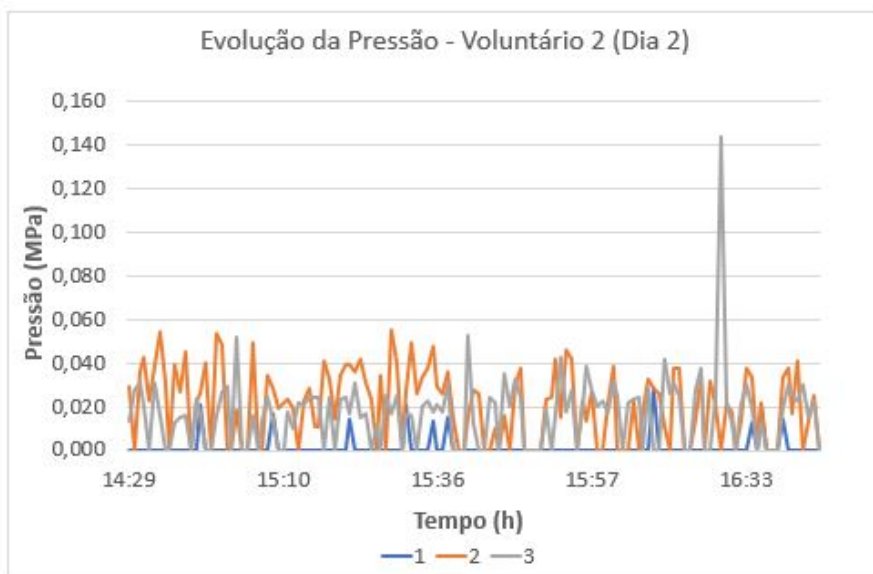


(b)

Figura II.2: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 12:55 e as 17:40 para o voluntário 2 no primeiro dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).



(a)



(b)

Figura II.3: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 14:29 e as 16:33, para o voluntário 2 no segundo dia de aquisições, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

Tabela II.3: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 2, no primeiro dia de aquisições.

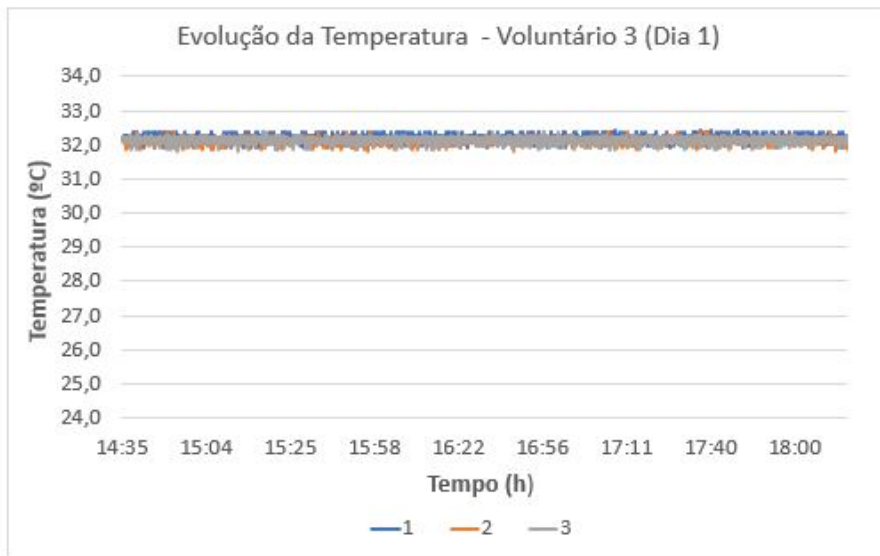
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
13:44 - 14:02	(0,016 ± 0,004)	(0,029 ± 0,011)	(0,025 ± 0,018)
14:03 - 14:05	(0,016 ± 0,008)	(0,021 ± 0,010)	(0,027 ± 0,019)
15:51 - 17:40	(0,018 ± 0,005)	(0,025 ± 0,012)	(0,025 ± 0,018)
17:40 - 17:41	(0,017 ± 0,004)	(0,029 ± 0,009)	(0,022 ± 0,017)

Tabela II.4: Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, para o voluntário 2, no segundo dia de aquisições.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
14:29 - 16:33	(33,1 ± 0,2)	(33,2 ± 0,1)	(33,2 ± 0,1)

Tabela II.5: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 2, no segundo dia de aquisições.

Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
14:29 - 16:33	(0,018 ± 0,005)	(0,030 ± 0,011)	(0,024 ± 0,015)



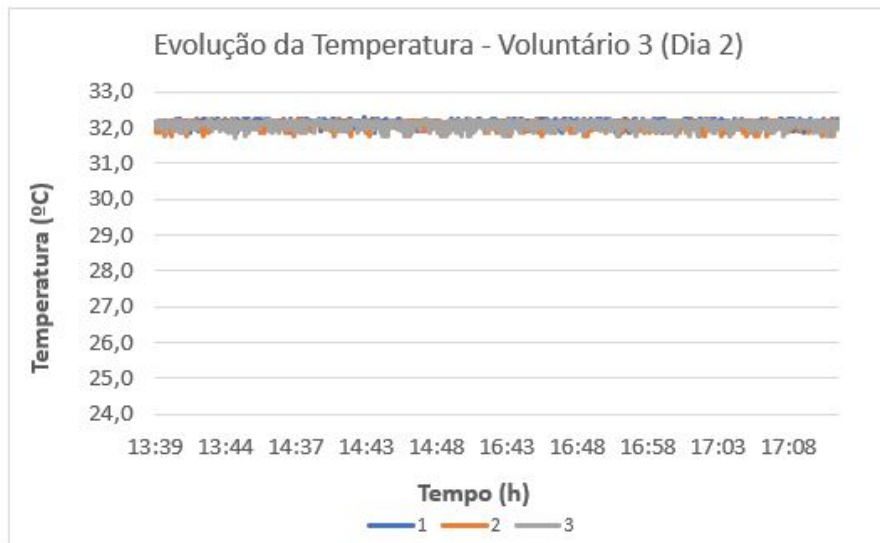
(a)



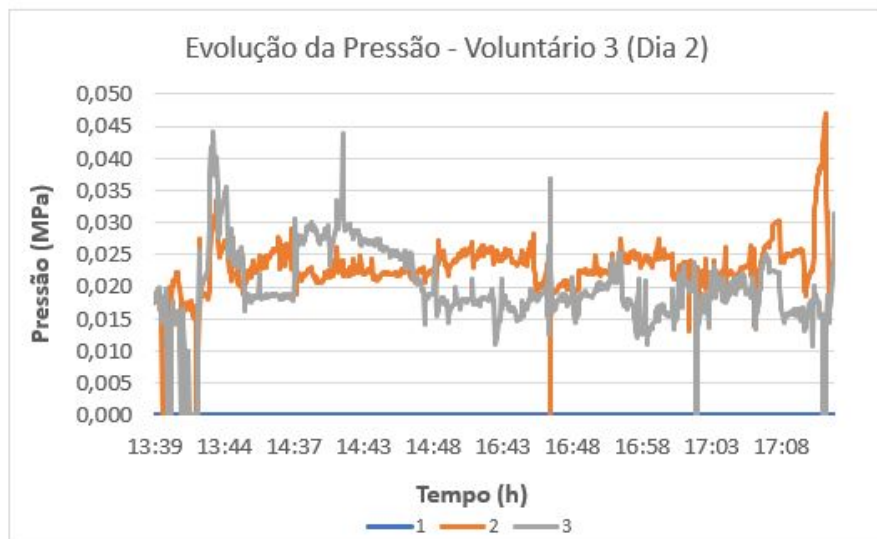
(b)

Figura II.4: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 14:35 e as 18:02, para o voluntário 3, no ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES



(a)



(b)

Figura II.5: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 13:39 e as 17:10, para o voluntário 3, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

Tabela II.6: Média e desvio padrão dos valores de temperatura obtidos, para o voluntário 3, no primeiro dia de aquisições.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
14:35 - 18:02	(32,2 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)

Tabela II.7: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 3, no primeiro dia de aquisições.

Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
14:35 - 18:02	(0,012 ± 0,035)	(0,022 ± 0,003)	(0,014 ± 0,003)

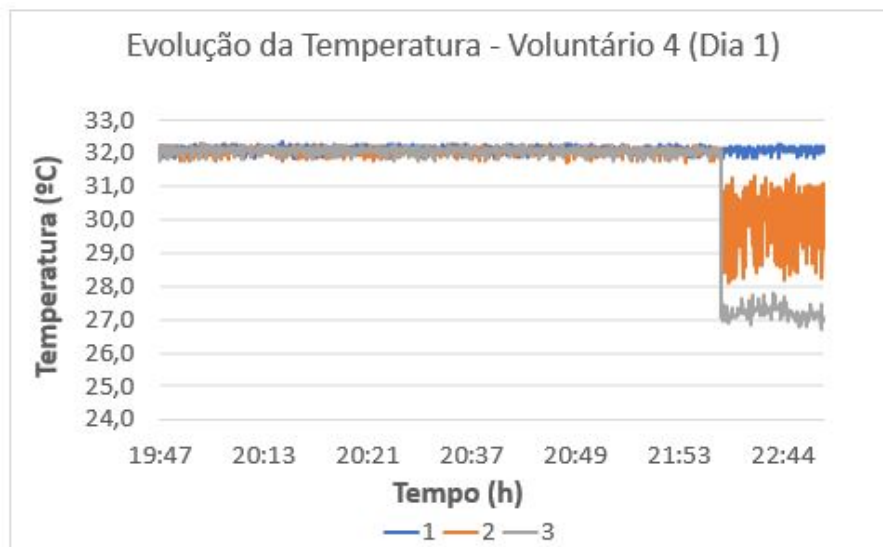
Tabela II.8: Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, para o voluntário 3, no segundo dia de aquisições.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
13:39 - 17:10	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)

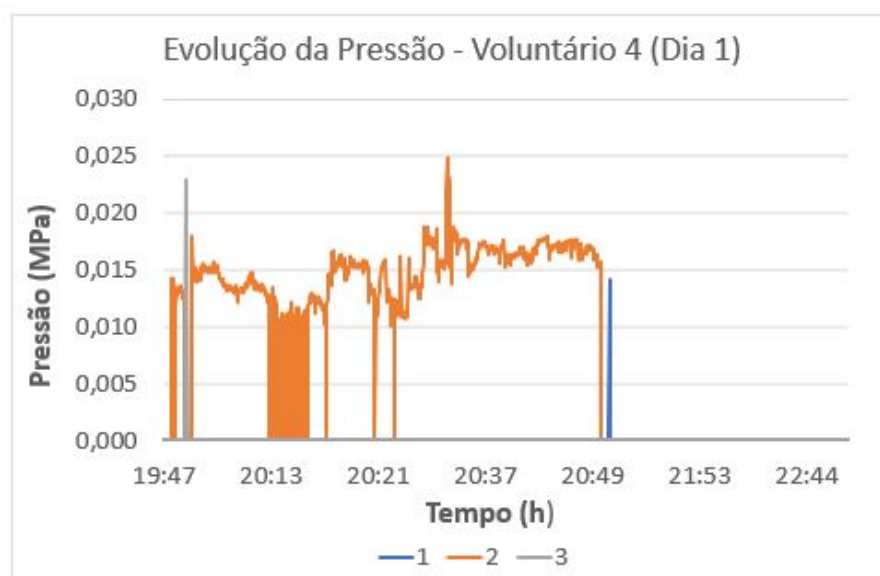
Tabela II.9: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos para o voluntário 3 no segundo dia de aquisições.

Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
13:39 - 17:10	(0,016)	(0,023 ± 0,004)	(0,021 ± 0,006)

ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

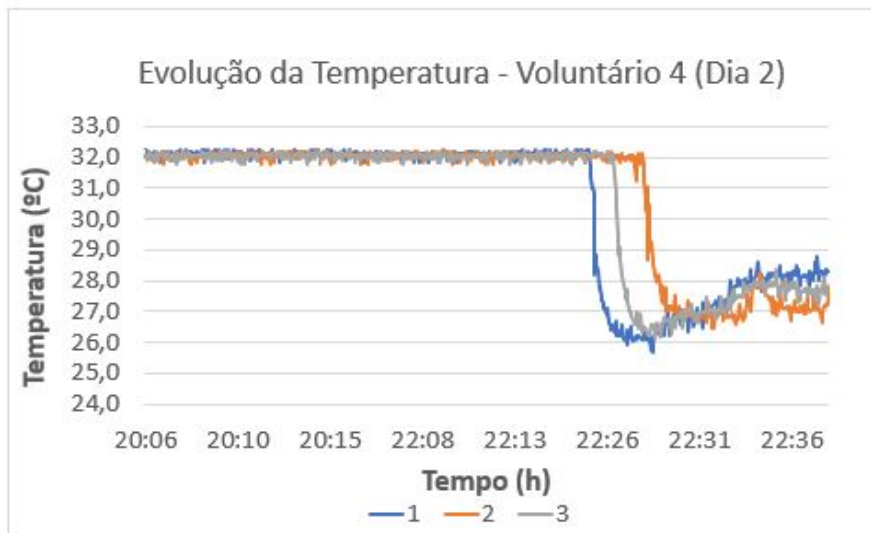


(a)

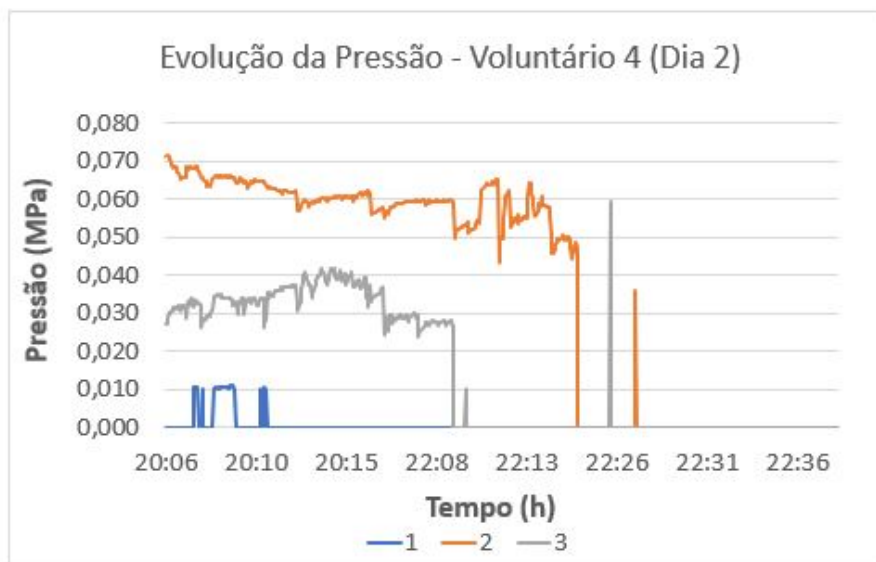


(b)

Figura II.6: Gráfico da evolução da temperatura entre as 19:47 e as 22:45, para o voluntário 4, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).



(a)



(b)

Figura II.7: Gráfico da evolução da temperatura entre as 20:06 e as 22:36, para o voluntário 4, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

Tabela II.10: Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, para o voluntário 4, no primeiro dia de aquisições.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
19:47 - 22:39	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,2)
22:39 - 22:48	(32,1 ± 0,1)	(30,0 ± 0,9)	(27,2 ± 0,2)

Tabela II.11: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 4, no primeiro dia de aquisições (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).

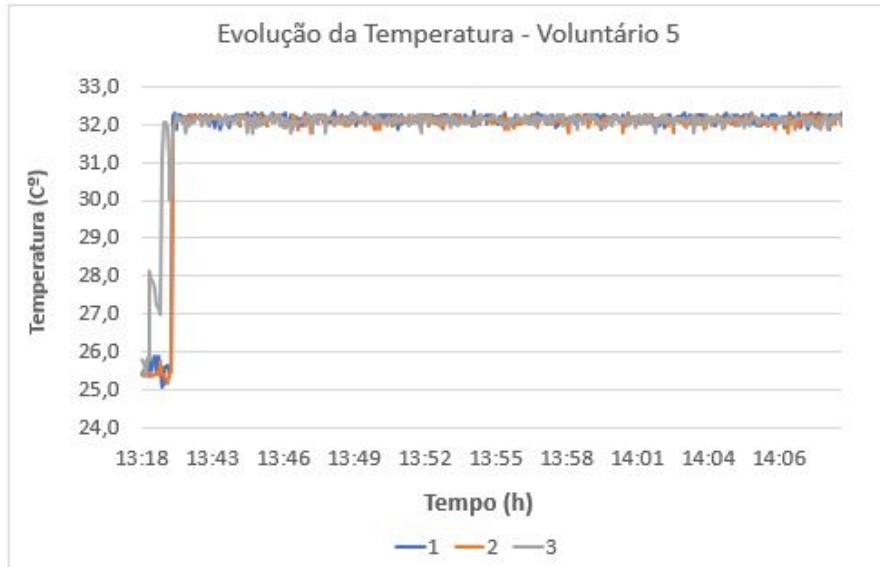
Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
(0,043 ± 0,036)	(0,015 ± 0,002)	(0,021 ± 0,003)

Tabela II.12: Média e desvio padrão dos valores da temperatura, obtidos para o voluntário 4, no segundo dia de aquisições.

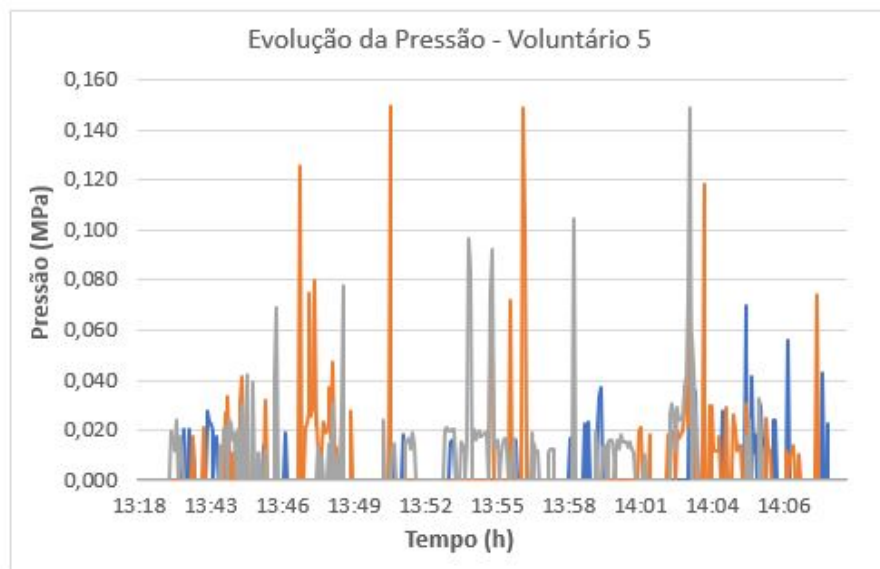
Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
20:06 - 22:26	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)

Tabela II.13: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, para o voluntário 4, no segundo dia de aquisições (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).

Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
(0,011 ± 0,000)	(0,062 ± 0,004)	(0,033 ± 0,004)



(a)



(b)

Figura II.8: Gráfico da evolução da temperatura entre as 13:18 e as 14:08, para o voluntário 5, no ponto mais proeminente do abdutor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

Tabela II.14: Média e desvio padrão dos valores de temperatura obtidos entre as 13:18 e as 13:21 e entre as 13:21 e as 14:08, para o voluntário 5.

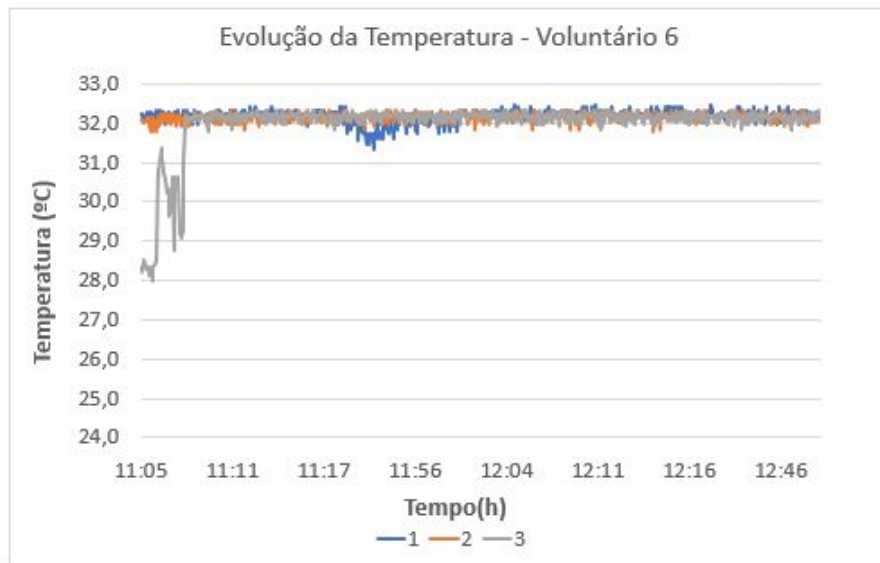
Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)
13:18 - 13:21	(25,7 ± 0,2)	(25,5 ± 0,1)
13:21 - 14:08	(33,1 ± 0,1)	(33,0 ± 0,1)

Tabela II.15: Média e desvio padrão dos valores da temperatura 3 obtidos entre as 13:18 e as 13:20 e entre as 13:20 e as 14:08, para o voluntário 5.

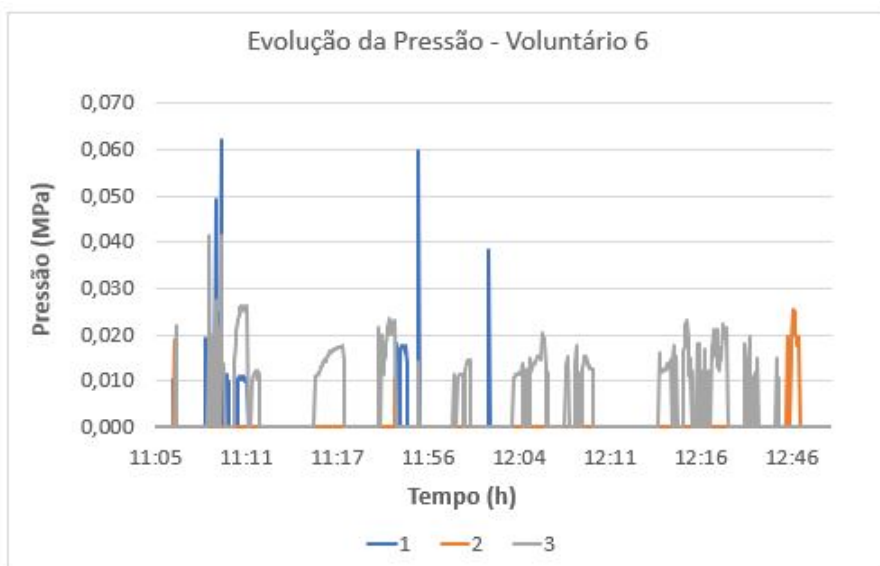
Período	Temperatura 3 (°C)
13:18 - 13:20	(27,7 ± 1,1)
13:20 - 14:08	(33,0 ± 0,2)

Tabela II.16: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos entre as 13:18 e as 13:21 e entre as 13:21 e as 14:08 para o voluntário 5 (apenas considerando para o cálculo, valores acima de 0 no segundo período de tempo).

Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
13:18 - 13:21	0	0	0
13:21 - 14:08	(0,025 ± 0,012)	(0,030 ± 0,018)	(0,024 ± 0,021)



(a)



(b)

Figura II.9: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 11:05 e as 12:46, para o voluntário 6, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

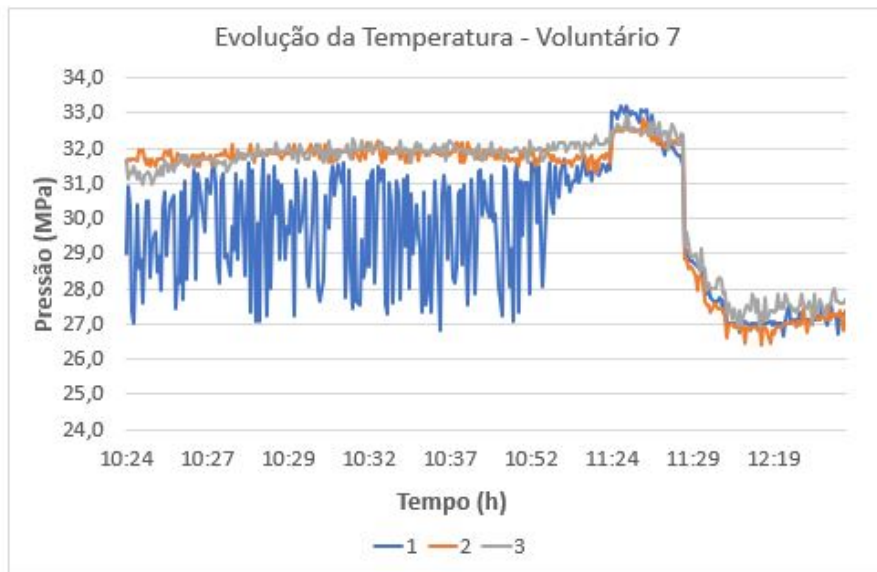
ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

Tabela II.17: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos entre as 11:05 e as 12:46 para o voluntário 6 (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).

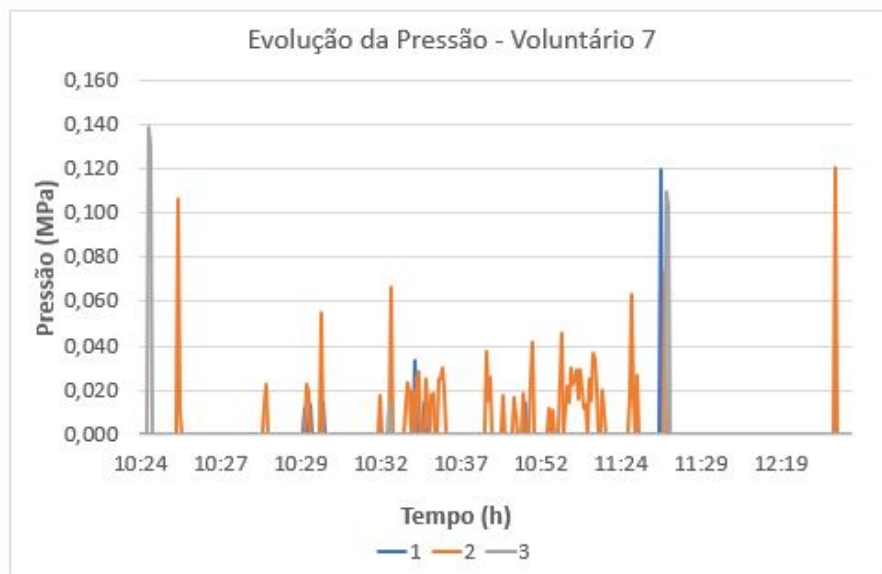
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
11:05 - 12:46	(0,019 ± 0,014)	(0,019 ± 0,004)	(0,016 ± 0,005)

Tabela II.18: Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos, entre as 11:05 e as 12:46 (para a zona 1 e a zona 2) e entre as 11:08-12:46 (para a zona 3), para o voluntário 6.

Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
(32,2 ± 0,2)	(32,2 ± 0,1)	(32,1 ± 0,4)



(a)



(b)

Figura II.10: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b) entre as 10:24 e as 12:19, para o voluntário 7, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

ANEXO II. GRÁFICOS E TABELAS PARA O PRIMEIRO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

Tabela II.19: Média e desvio padrão dos valores da pressão obtidos, entre as 10:24 e as 12:19, para o voluntário 7 (considerando para o cálculo apenas valores acima de 0).

Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
(0,035 ± 0,040)	(0,029 ± 0,021)	(0,100 ± 0,050)

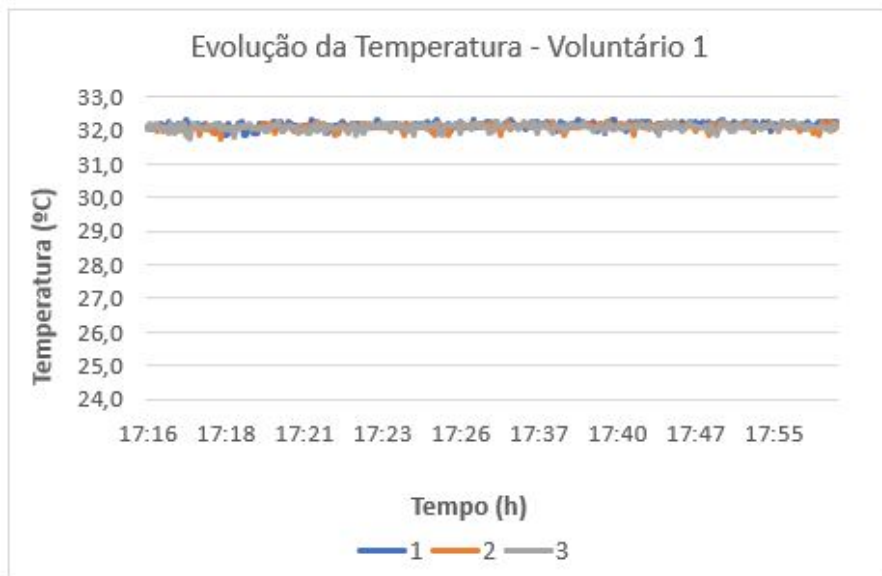
Tabela II.20: Média e desvio padrão dos valores da temperatura obtidos para o voluntário 7.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
10:24 - 11:28	(29,6 ± 1,4)	(31,1 ± 0,2)	(31,1 ± 0,3)
11:28 - 12:19	(27,1 ± 0,5)	(26,9 ± 0,5)	(27,4 ± 0,5)

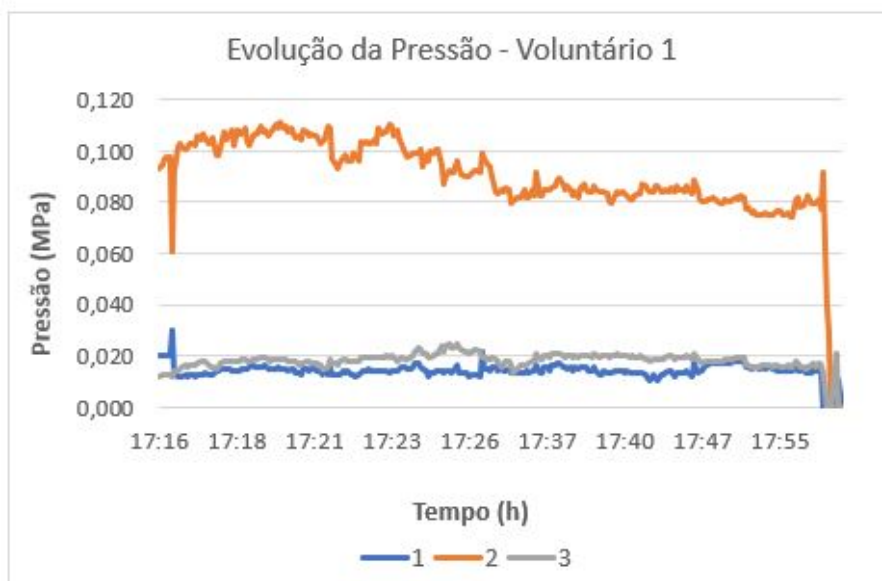
III

GRÁFICOS E TABELAS PARA O SEGUNDO
CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

ANEXO III. GRÁFICOS E TABELAS PARA O SEGUNDO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

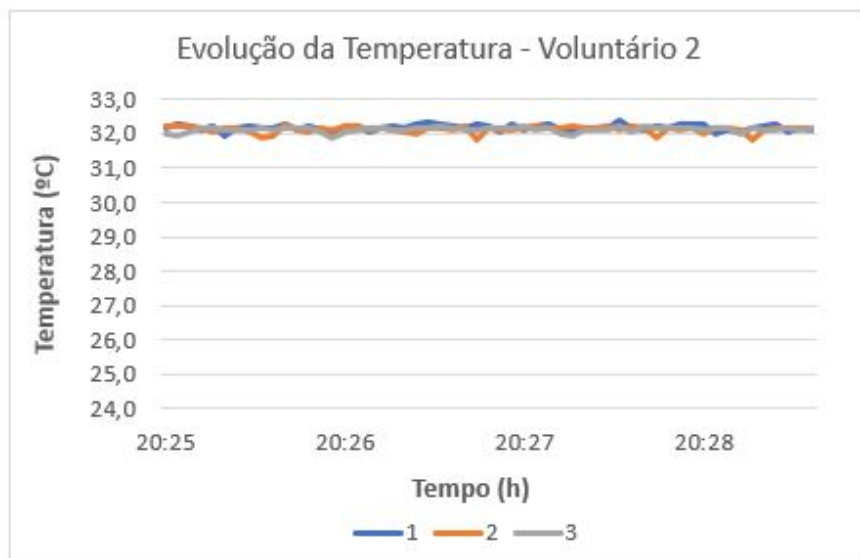


(a)

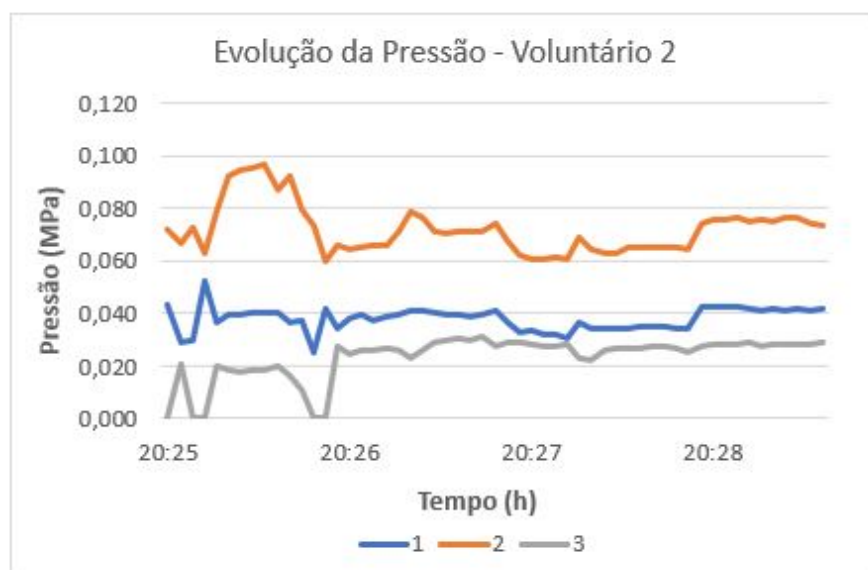


(b)

Figura III.1: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 1, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).



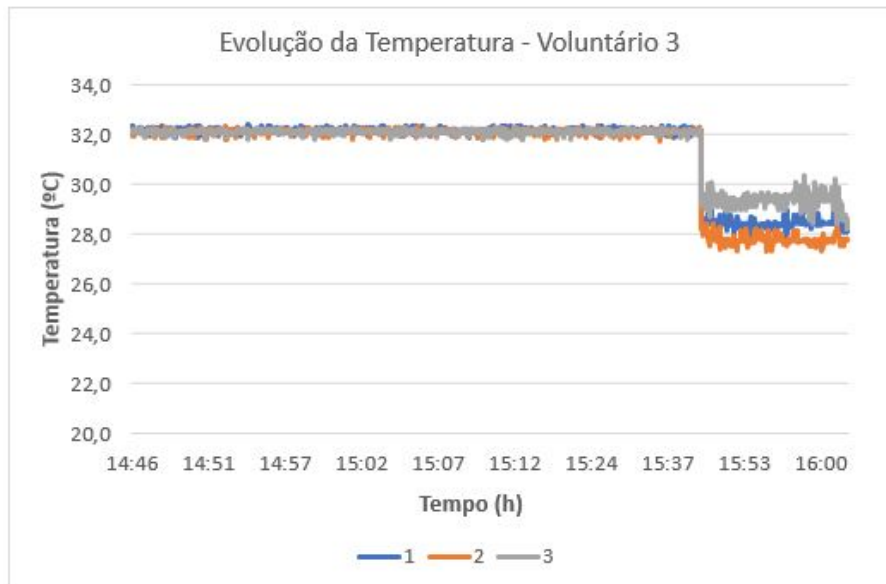
(a)



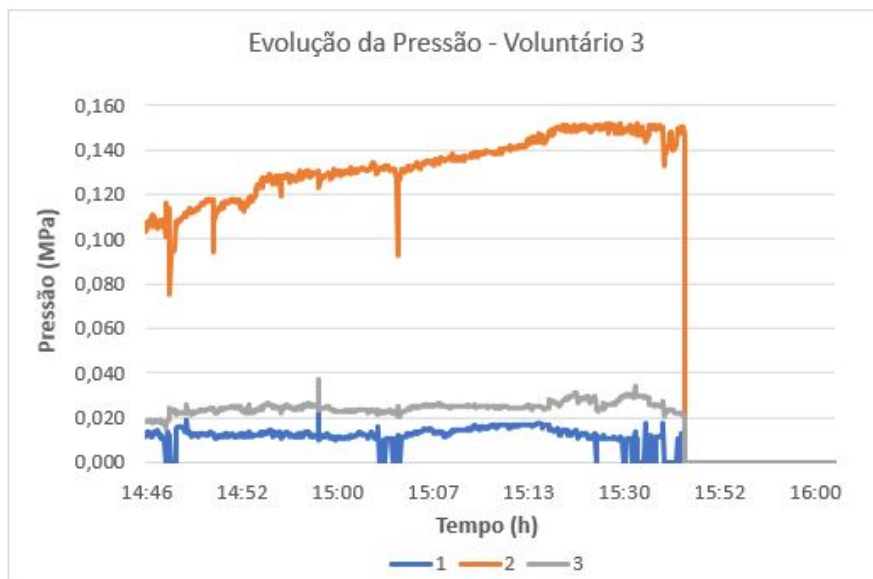
(b)

Figura III.2: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 2, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1); na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2), na extremidade distal da ulna (3).

ANEXO III. GRÁFICOS E TABELAS PARA O SEGUNDO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

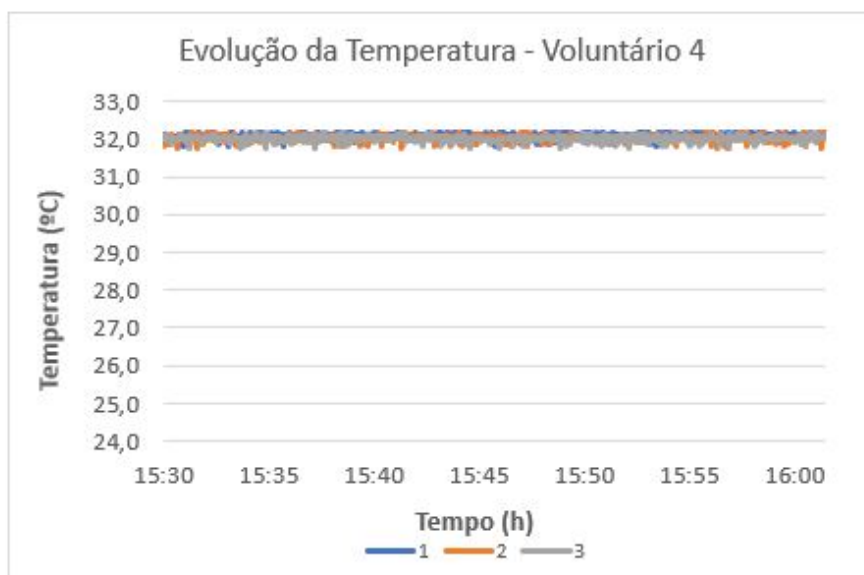


(a)

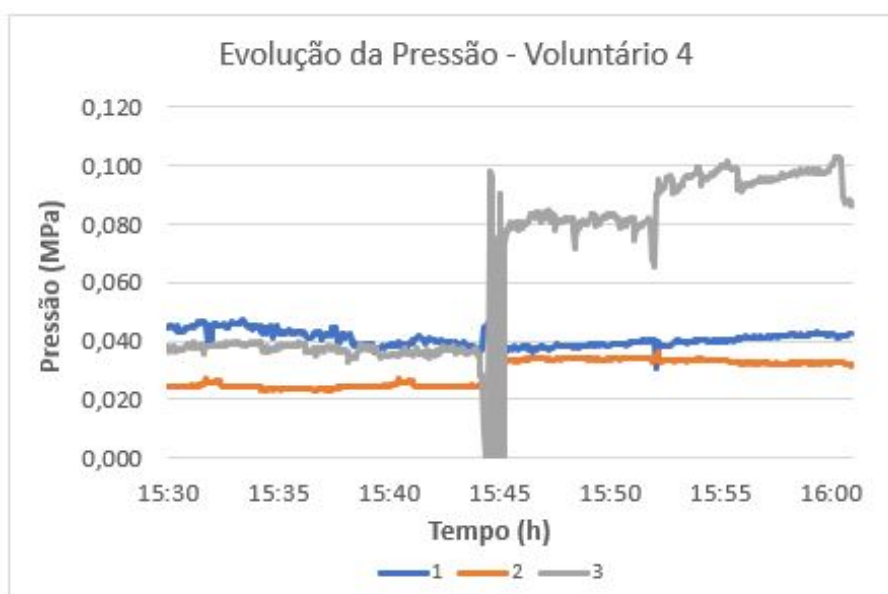


(b)

Figura III.3: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 3, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

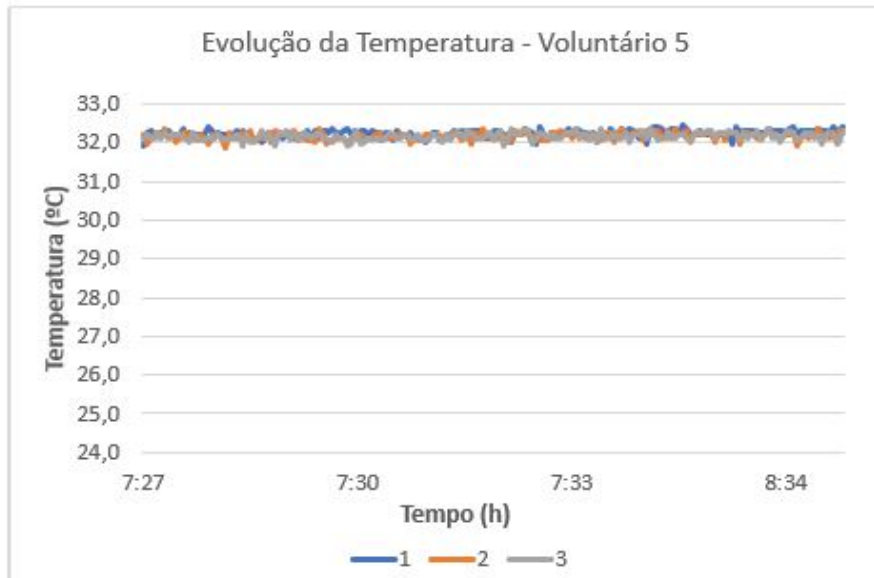


(a)

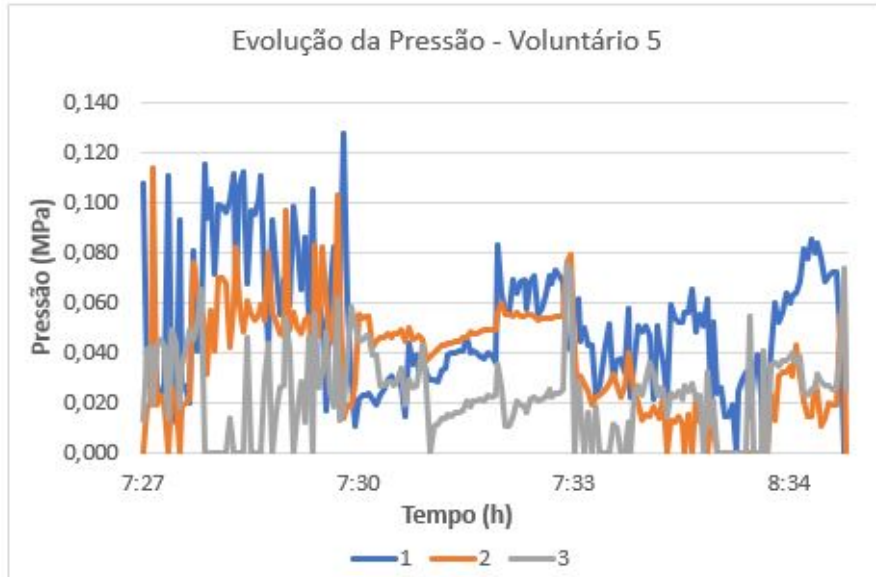


(b)

Figura III.4: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 4, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

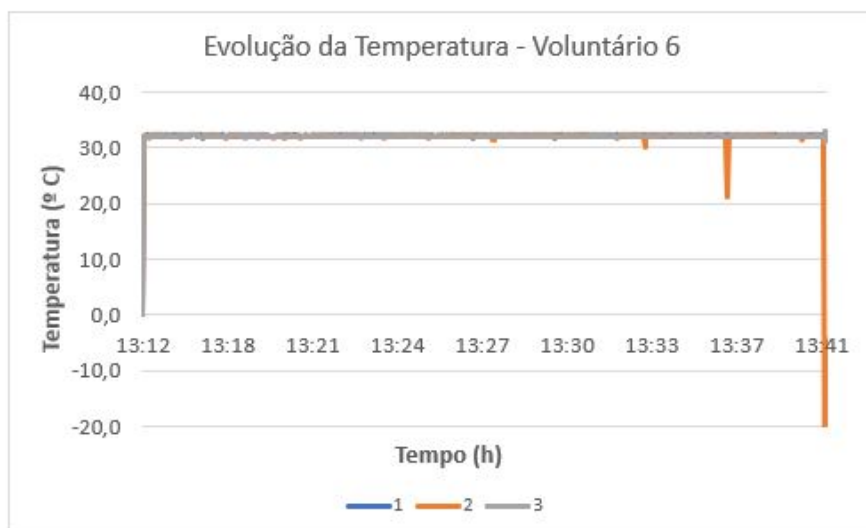


(a)

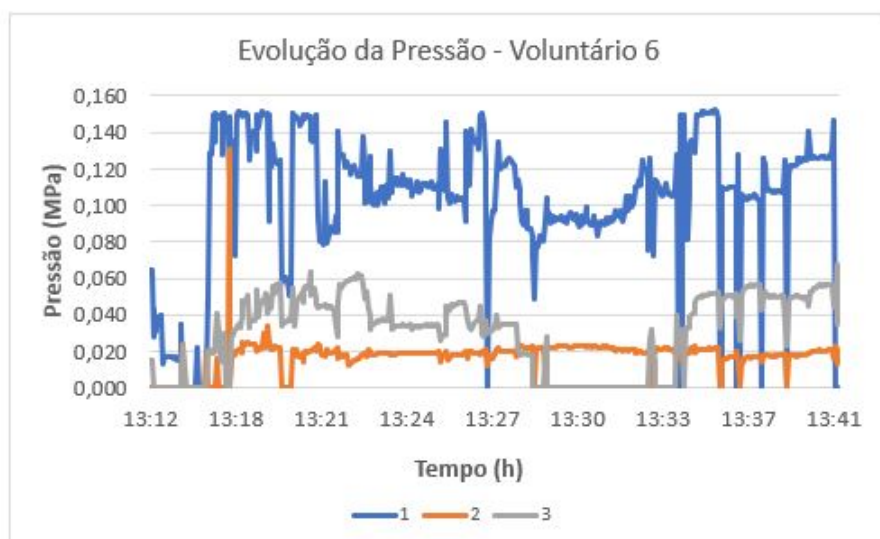


(b)

Figura III.5: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 5, no ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio perto da tabaqueira anatómica (2) e na extremidade distal da ulna (3).



(a)



(b)

Figura III.6: Gráfico da evolução da temperatura (a) e da pressão (b), para o voluntário 6, no ponto mais proeminente do *abductor digiti minimi* (1), na extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatômica (2) e na extremidade distal da ulna (3).

ANEXO III. GRÁFICOS E TABELAS PARA O SEGUNDO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

Tabela III.1: Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos, entre as 17:16 e as 17:55, para o voluntário 1.

Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)
Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
(0,51 ± 0,06)	(2,97 ± 0,17)	(0,73 ± 0,12)
Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
(0,014 ± 0,002)	(0,092 ± 0,011)	(0,019 ± 0,002)

Tabela III.2: Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos, entre as 20:25 e as 20:28, para o voluntário 2.

Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)
Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
(1,7195 ± 0,1735)	(2,6267 ± 0,1730)	(1,0743 ± 0,3787)
Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
(0,038 ± 0,004)	(0,072 ± 0,009)	(0,023 ± 0,008)

Tabela III.3: Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos entre as 14:46 e as 15:43 para o voluntário 3.

Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
(32,2 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)
Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
(0,4389 ± 0,0929)	(3,4984 ± 0,1512)	(1,0991 ± 0,1470)
Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
(0,013 ± 0,002)	(0,133 ± 0,013)	(0,024 ± 0,002)

Tabela III.4: Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos para o voluntário 4.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
15:30 - 16:00	(32,2± 0,1)	(32,1 ± 0,1)	(32,1 ± 0,1)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
15:30 - 15:45	(1,8678 ± 0,0973)	(1,1094 ± 0,0421)	(1,7008 ± 0,0598)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
15:30 - 15:45	(0,012 ± 0,004)	(0,133 ± 0,014)	(0,024 ± 0,003)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
15:45 - 16:00	(1,7990 ± 0,0614)	(1,5452 ± 0,0307)	(2,9384 ± 0,1329)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
15:45 - 16:00	(0,040 ± 0,002)	(0,033 ± 0,001)	(0,089 ± 0,002)

ANEXO III. GRÁFICOS E TABELAS PARA O SEGUNDO CONJUNTO DE AQUISIÇÕES

Tabela III.5: Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos para o voluntário 5.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)
7:34 - 8:25	(32,2 ± 0,1)	(32,2 ± 0,1)	(32,2 ± 0,1)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
7:27 - 7:30	(2,1627 ± 0,9138)	(1,9014 ± 0,7520)	(1,1703 ± 0,8329)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
7:27 - 7:30	(0,062 ± 0,029)	(0,048 ± 0,023)	(0,027 ± 0,020)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
7:30 - 7:33	(1,9374 ± 0,4853)	(1,9569 ± 0,4260)	(1,8666 ± 0,5328)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
7:30 - 7:33	(0,055 ± 0,015)	(0,046 ± 0,012)	(0,020 ± 0,014)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
7:34 - 8:25	(1,7272 ± 0,4332)	(1,2698 ± 0,3121)	(0,4679 ± 0,4042)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
7:34 - 8:25	(0,038 ± 0,012)	(0,030 ± 0,006)	(0,005 ± 0,006)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
8:25 - 8:34	(1,8326 ± 0,7960)	(0,6362 ± 0,5598)	(1,0288 ± 0,6500)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
8:25 - 8:34	(0,046 ± 0,023)	(0,014 ± 0,014)	(0,023 ± 0,015)

Tabela III.6: Média e desvio padrão dos valores da temperatura, tensão e pressão obtidos para o voluntário 6.

Período	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 3 (°C)
13:12 - 13:41	(32,2± 0,1)	(32,2 ± 0,1)	(32,2 ± 0,1)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
13:12 - 13:18	(1,9560 ± 1,5305)	(0,3341 ± 0,5455)	(0,6535 ± 0,6882)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 2 (MPa)
13:12 - 13:18	(0,070 ± 0,063)	(0,008 ± 0,017)	(0,013 ± 0,016)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
13:18 - 13:27	(3,2557 ± 0,3986)	(0,7283 ± 0,1739)	(1,8379 ± 0,3043)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
13:18 - 13:27	(0,115 ± 0,024)	(0,018 ± 0,005)	(0,042 ± 0,009)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 3 (V)	Tensão 3 (V)
13:27 - 13:33	(3,0610 ± 0,1980)	(0,8925 ± 0,1439)	(0,2974 ± 0,4693)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
13:27 - 13:33	(0,098 ± 0,013)	(0,021 ± 0,003)	(0,006 ± 0,011)
Período	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)
13:33 - 13:41	(2,8773 ± 1,1772)	(0,7138 ± 0,1991)	(1,9400 ± 0,4983)
Período	Pressão 1 (MPa)	Pressão 2 (MPa)	Pressão 3 (MPa)
13:33 - 13:41	(0,103 ± 0,046)	(0,018 ± 0,005)	(0,046 ± 0,013)

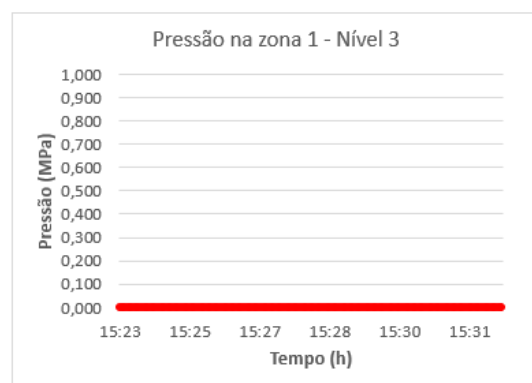
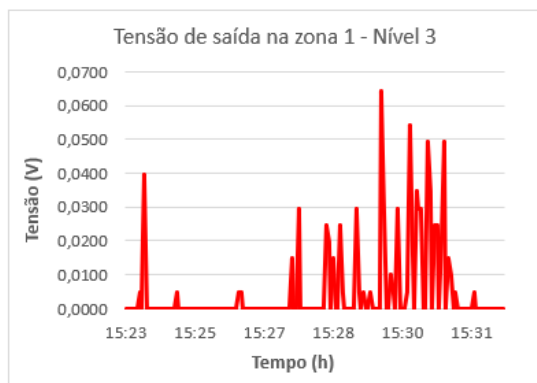
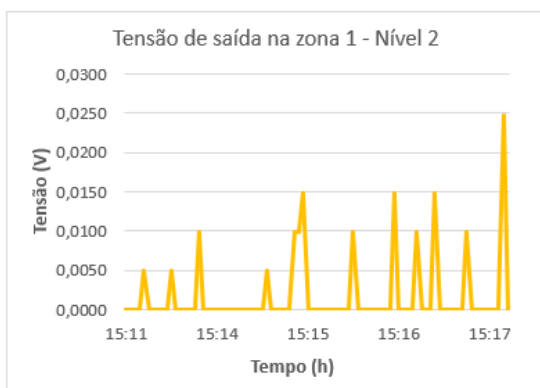
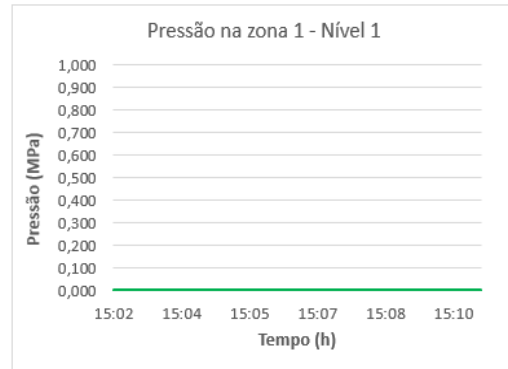
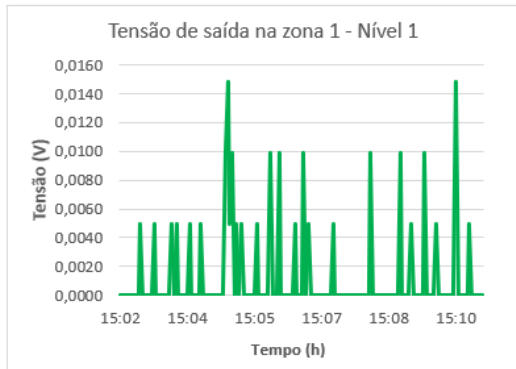
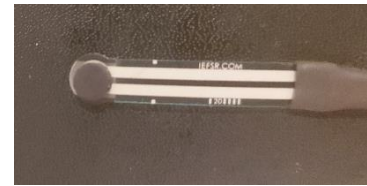
GRÁFICOS DE TENSÃO E PRESSÃO RELATIVOS A TESTES COM OS SENSORES DE PRESSÃO

No presente anexo, estão disponíveis as imagens dos gráficos de tensão e pressão, para 3 níveis de força de aperto do velcro da ortótese.

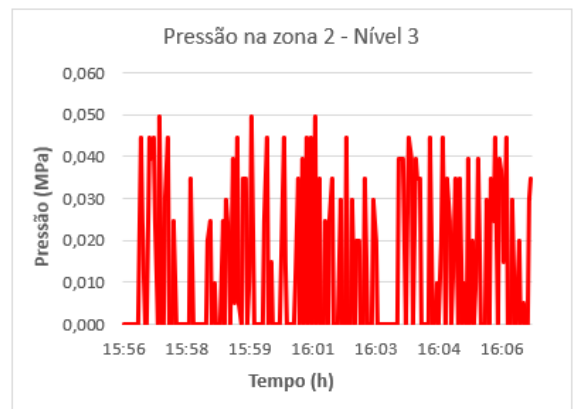
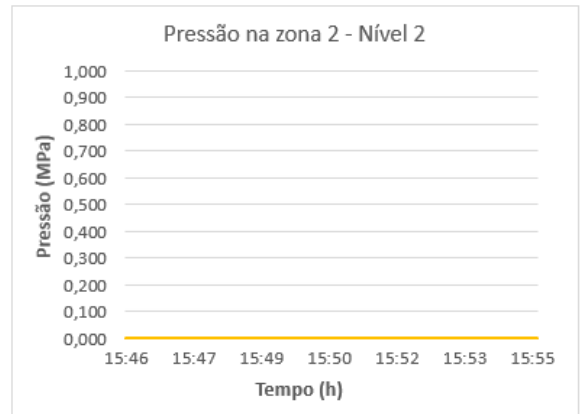
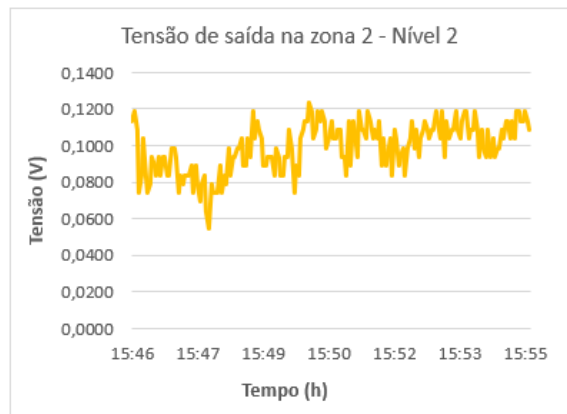
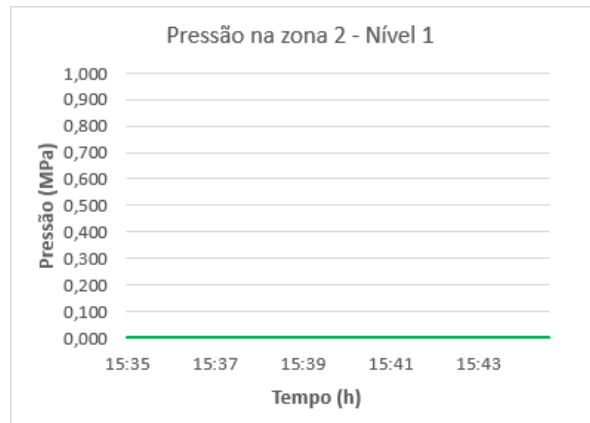
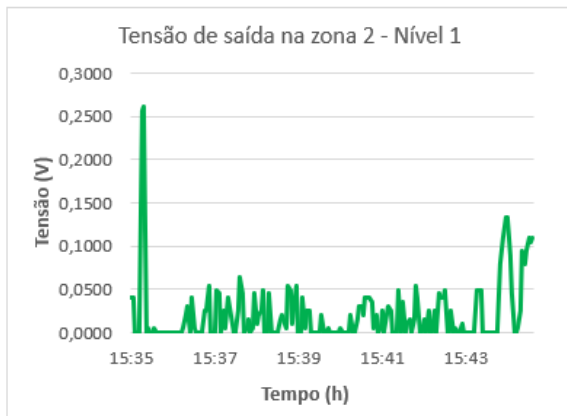
Estes testes foram realizados apenas para o voluntário 1 com o sensor de pressão em 3 configurações diferentes: sem nenhum material colado na zona posterior da área ativa, com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa (recortado com o formato do sensor) e com uma circunferência desse material colada por cima do material anterior.

Na terceira modalidade, (com a circunferência) fizeram-se testes também para os voluntários 3 e 4.

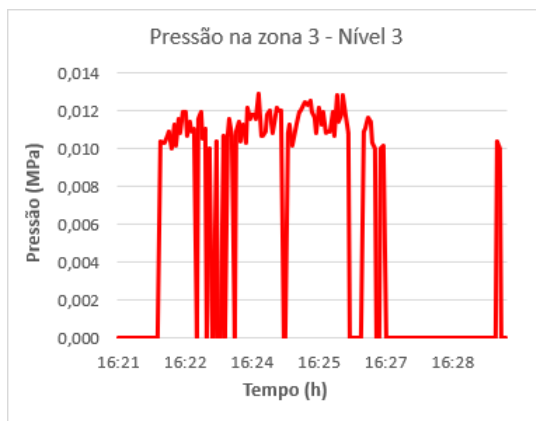
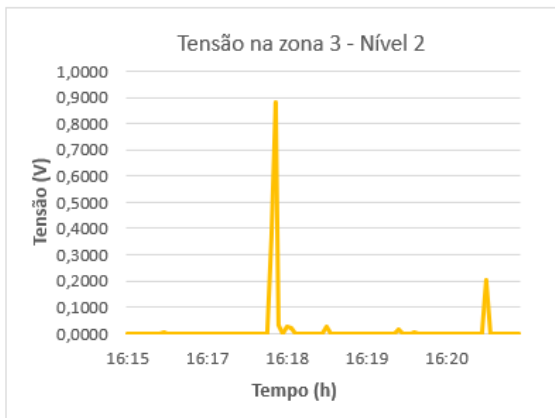
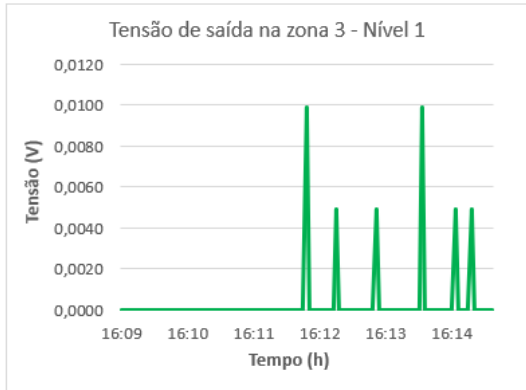
Gráficos da Tensão de Saída e da Pressão para 3 níveis de aperto dos velcros da ortótese e para as 3 zonas do membro superior – **Sem nenhum material (colado na zona posterior da área ativa do sensor)**



Zona 1 – ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi*

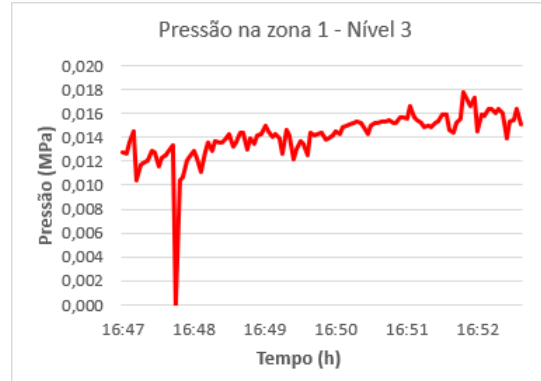
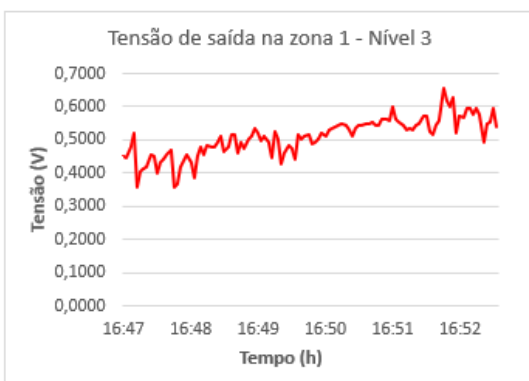
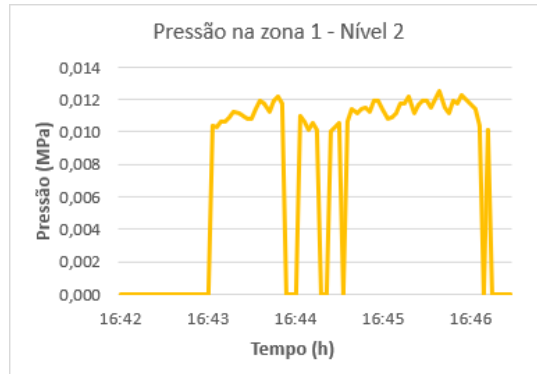
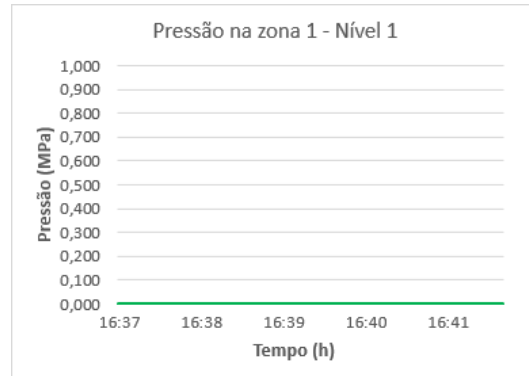
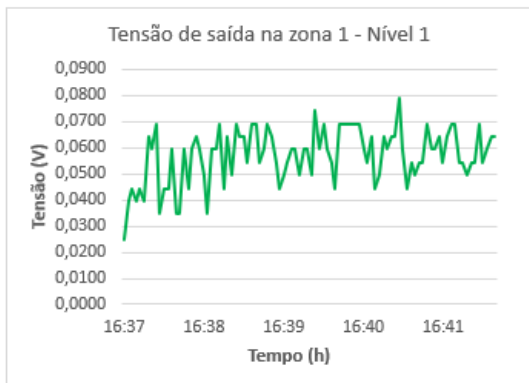


Zona 2 – extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica

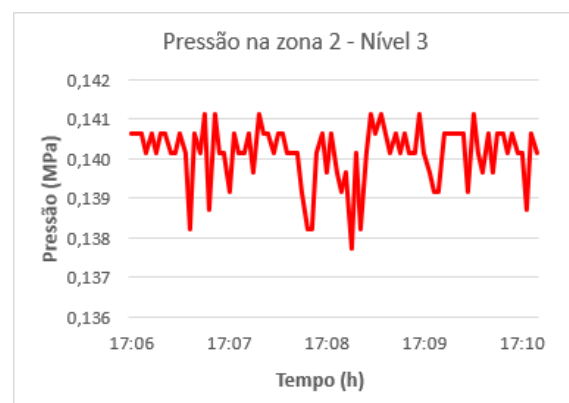
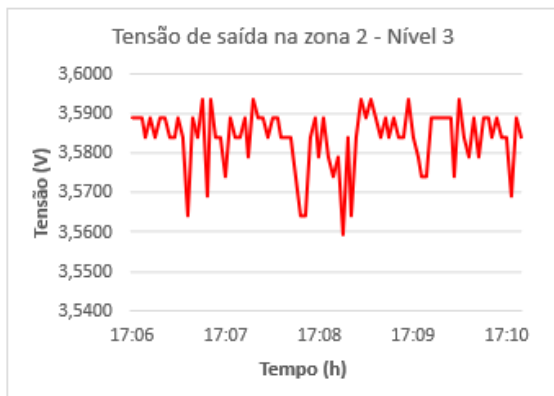
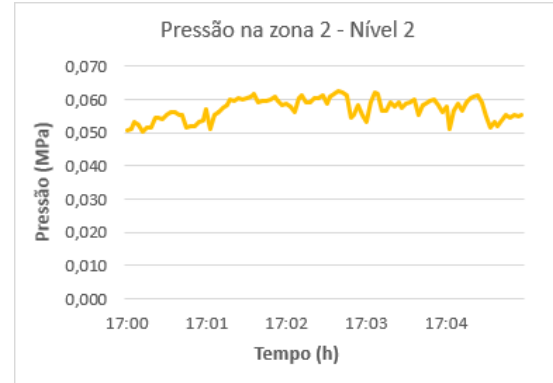
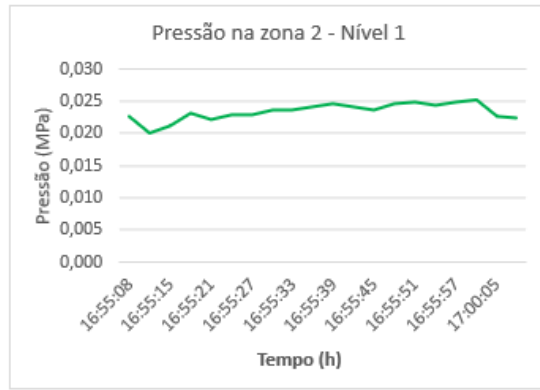
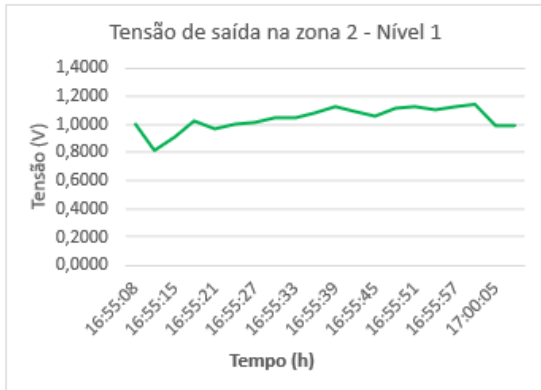


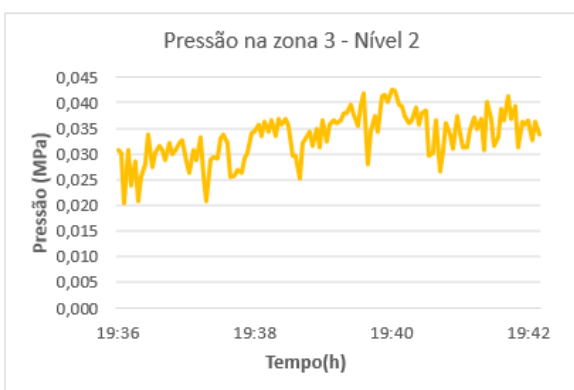
Zona 3 – extremidade distal da ulna

Gráficos da Tensão de Saída e da Pressão para 3 níveis de aperto dos velcros da ortótese e para as 3 zonas do membro superior – **Com um material plástico semiduro, colado na zona posterior da área ativa e recortado com o mesmo formato do sensor (como estava inicialmente)**



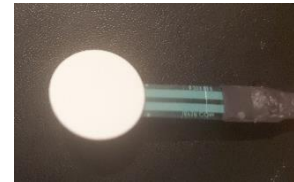
Zona 1 – ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi*



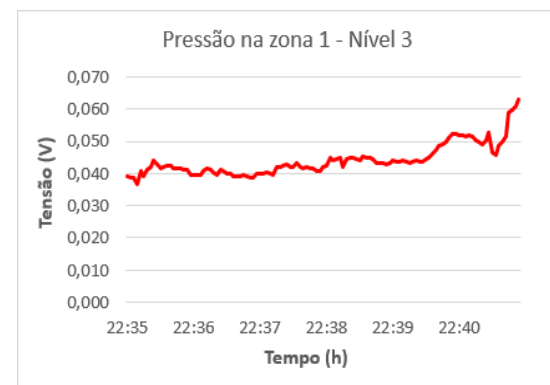
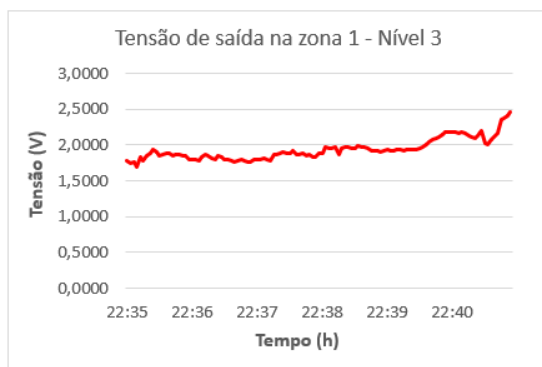
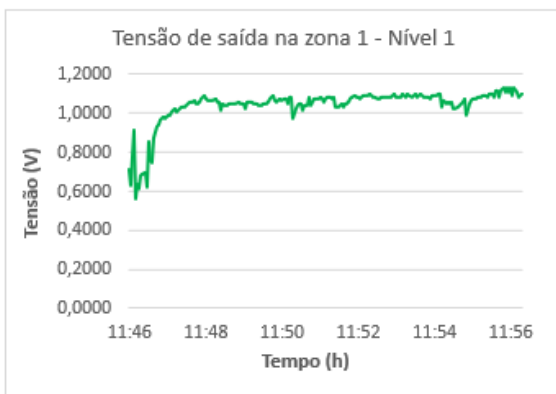


Zona 3 – extremidade distal da ulna

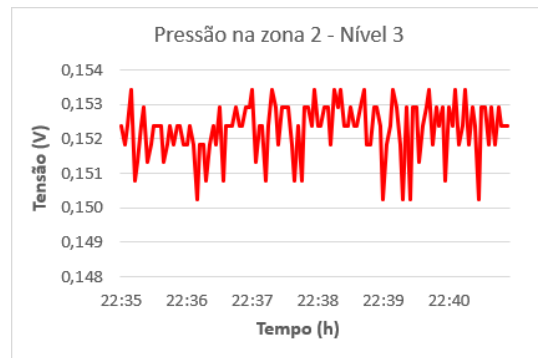
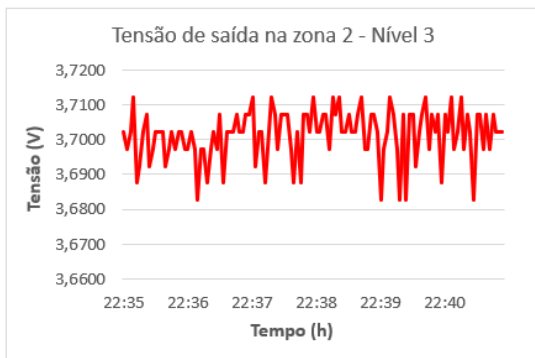
Gráficos da Tensão de Saída e da Pressão para 3 níveis de aperto dos velcros da ortótese e para as 3 zonas do membro superior – **Com um material plástico semiduro (igual ao anterior), com o formato de uma circunferência, colado na zona posterior da área ativa, (por cima do material da situação anterior)**



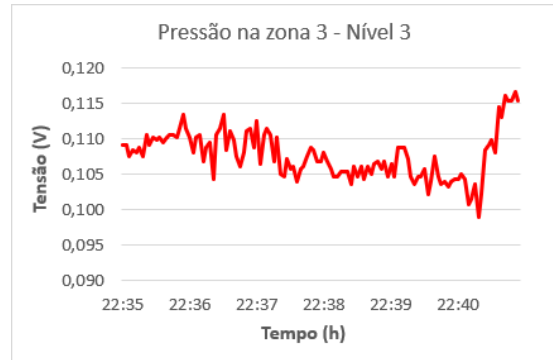
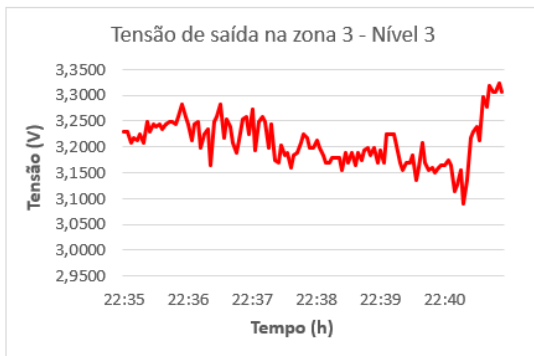
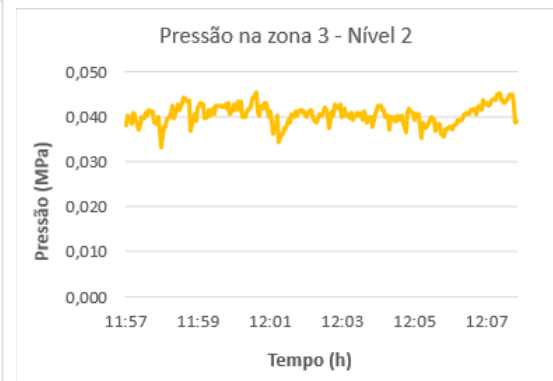
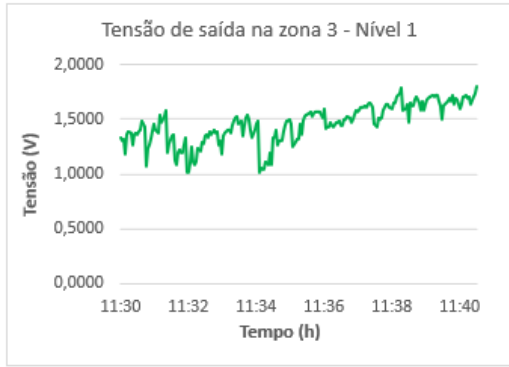
Voluntário 1



Zona 1 – ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi*



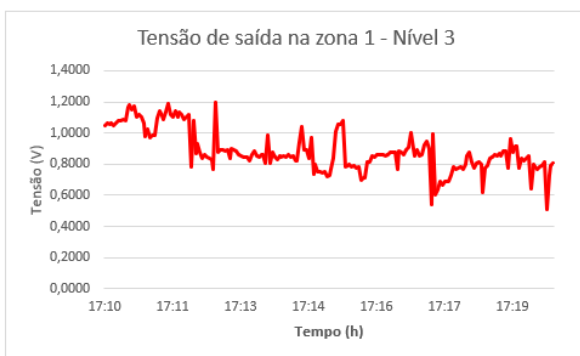
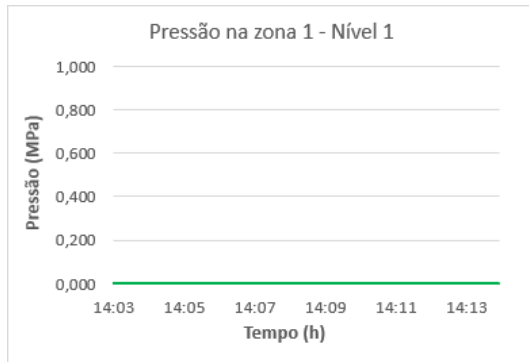
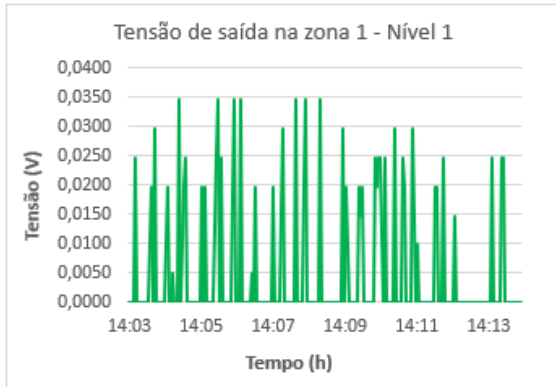
Zona 2 – extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica



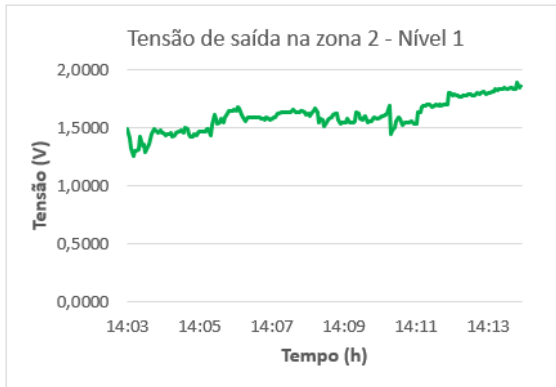
Zona 3 – extremidade distal da ulna

Gráficos da Tensão de Saída e da Pressão para 3 níveis de aperto dos velcros da ortótese e para as 3 zonas dos membro superior – **Com uma circunferência do material colada por cima do material com o mesmo formato do sensor**

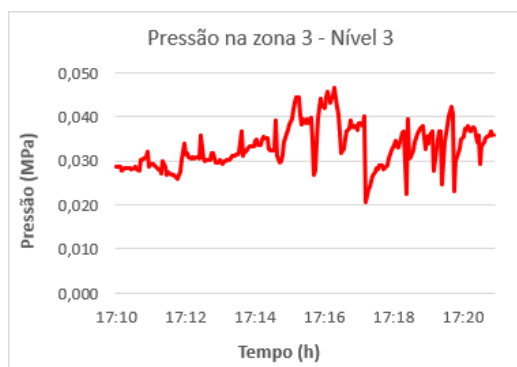
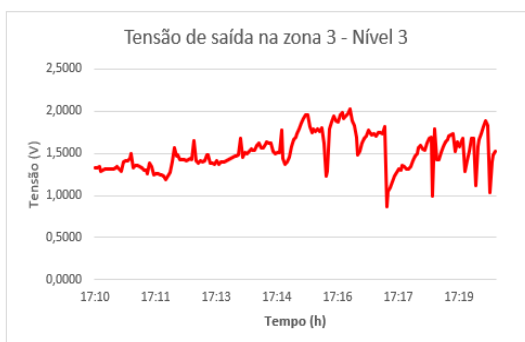
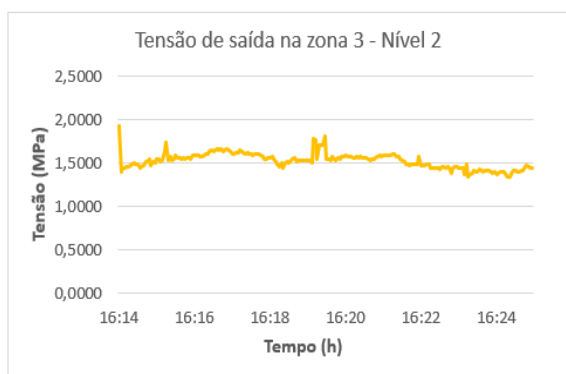
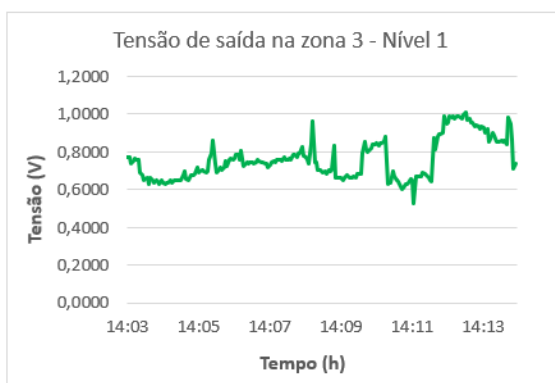
Voluntário 3



Zona 1 – ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi*



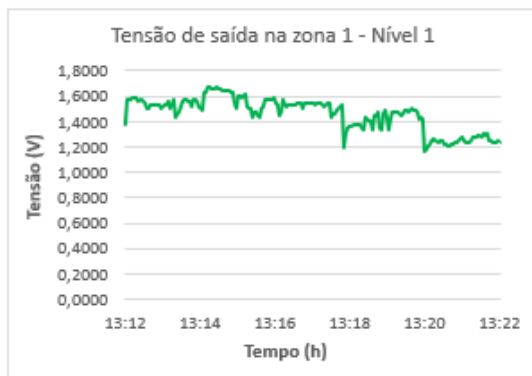
Zona 2 – extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica



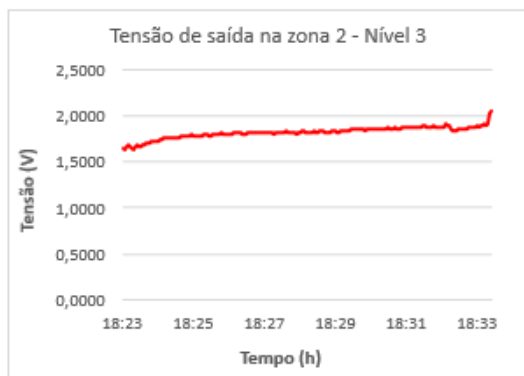
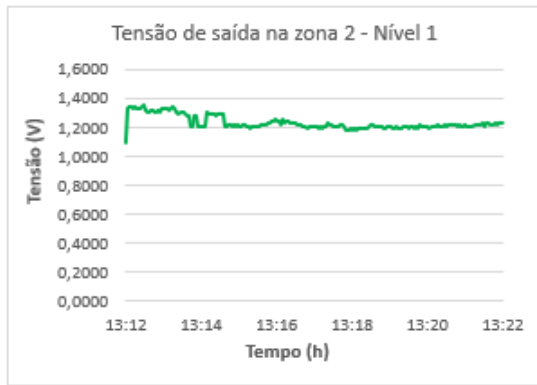
Zona 3 – extremidade distal da ulna

Gráficos da Tensão de Saída e da Pressão para 3 níveis de aperto dos velcros da ortótese e para as 3 zonas dos membro superior – **Com uma circunferência do material colada por cima do material com o mesmo formato do sensor**

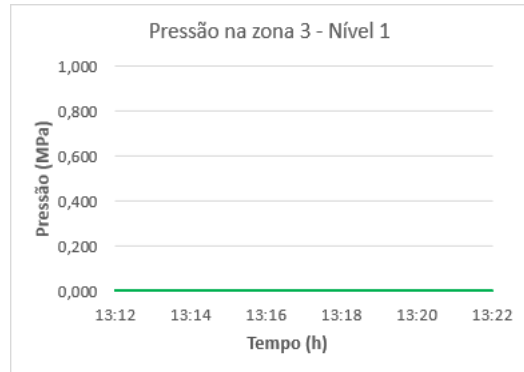
Voluntário 4



Zona 1 – ponto mais proeminente do abductor *digiti minimi*



Zona 2 – extremidade distal do rádio, perto da tabaqueira anatómica



Zona 3 – extremidade distal da ulna

| V

QUESTIONÁRIO SUS

No presente anexo, apresenta-se o questionário [SUS](#), utilizado nos testes de usabilidade da aplicação.

Ortho-monitorizer - Ferramenta para monitorizar a temperatura e a pressão do membro superior com uma ortótese estática

No âmbito do projeto de Dissertação em Engenharia Biomédica da Nova School of Science & Technology (NOVA-FCT), pela aluna Eduarda de Azevedo Pereira Dinis, coloca-se à consideração de V/Exa a possibilidade de participação num estudo intitulado "Validação de Sistema para Monitorização do Uso de Ortótese".

O objetivo será recolher um conjunto de dados para posteriormente retirar conclusões acerca da usabilidade da aplicação Ortho-monitorizer, pelo que se pede a sua colaboração para o preenchimento do seguinte questionário.

É assegurada a confidencialidade dos dados, sendo que toda a informação recolhida será utilizada de forma anónima e exclusivamente para a realização deste projeto.

Agradecemos desde já a sua disponibilidade!

*Obrigatório

1. Declaro ter compreendido os objetivos que me foram propostos e explicados. *
Foi-me concedida a oportunidade de esclarecer todas as dúvidas sobre este projeto e tive tempo suficiente para refletir sobre esta proposta, pelo que declaro que autorizo a utilização dos dados recolhidos neste questionário no projeto supramencionado.

Marcar apenas uma oval.

Concordo

Discordo

2. Nome *

3. Idade *

4. Género *

Marcar apenas uma oval.

Masculino

Feminino

Outro

5. Habilitações Literárias *

Marcar apenas uma oval.

Licenciatura

Mestrado

Doutoramento

Outro

Ortho-monitorizer - Ferramenta para monitorizar a temperatura e a pressão do membro superior com uma ortótese estática

6. Declaro ter compreendido os objetivos que me foram propostos e explicados. *

Foi-me concedida a oportunidade de esclarecer todas as dúvidas sobre este projeto e tive tempo suficiente para refletir sobre esta proposta, pelo que declaro que autorizo a utilização dos dados recolhidos neste questionário no projeto supramencionado.

Marcar apenas uma oval.

Concordo

Discordo

7. Nome *

8. Idade *

9. Género *

Marcar apenas uma oval.

Masculino

Feminino

Outro

10. Habilitações Literárias *

Marcar apenas uma oval.

Licenciatura

Mestrado

Doutoramento

Outro

Questionário
de
Usabilidade
(SUS -
System
Usability
Scale)

Este questionário é composto por 10 afirmações, 5 de carácter negativo e 5 de carácter positivo. Para avaliar o grau de concordância com a afirmação, usa-se uma escala de classificação que varia de 1 a 5, em que 1 corresponde a "Discordo totalmente" e 5 corresponde a "Concordo totalmente".

11. Penso que gostaria de usar esta aplicação com frequência. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Discordo fortemente Concordo fortemente

12. A aplicação é desnecessariamente complexa. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

13. Penso que a aplicação é fácil de utilizar. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

14. Penso que preciso de ajuda de um técnico para conseguir utilizar a aplicação. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

15. Achei que as diversas funções desta aplicação foram bem integradas. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

16. Achei que existem muitas inconsistências na aplicação. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

17. Imagino que a maioria das pessoas conseguem aprender a utilizar a aplicação rapidamente. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

18. Achei a aplicação muito complicada de utilizar. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

19. Senti-me muito confiante a utilizar a aplicação. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

20. Preciso de aprender muitas coisas antes de usar a aplicação. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5		
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

Questionário
- Utilização
da aplicação

Neste questionário pretende-se que o participante faça uma análise adicional sobre a utilização da aplicação e indique os pontos fortes e pontos fracos da mesma. É constituído por x afirmações/questões onde são avaliados aspetos específicos da aplicação.

21. Numa escala de 0 a 10, em quanto avaliaria a pertinência desta tecnologia na monitorização de pacientes que utilizem ortóteses? *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. A página do login é intuitiva. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

23. Fazer o registo pela primeira vez na aplicação é fácil e intuitivo. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5		
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

24. Alterar os dados pessoais é fácil e intuitivo. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

25. A ligação do Bluetooth e seleção do dispositivo "blueblue" é fácil e intuitiva. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

26. Começar a fazer aquisições através da seleção do serviço e da característica é fácil e intuitivo. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

27. Seria importante existir um botão para parar a aquisição. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

28. Seria importante ter uma fotografia do membro superior com cada local identificado e os valores desse local . *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

29. Relativamente às funcionalidades atuais da plataforma, na sua opinião, o que poderia ser melhorado?

30. Na sua opinião, que novas funcionalidades seriam uma mais valia acrescentar à plataforma?

31. Tem algum comentário que gostasse de deixar ou alguma dúvida acerca do projeto que possamos esclarecer melhor?

Questionário
de
Usabilidade
(SUS -
System
Usability
Scale)

Este questionário é composto por 10 afirmações, 5 de carácter negativo e 5 de carácter positivo. Para avaliar o grau de concordância com a afirmação, usa-se uma escala de classificação que varia de 1 a 5, em que 1 corresponde a "Discordo totalmente" e 5 corresponde a "Concordo totalmente".

32. Penso que gostaria de usar esta aplicação com frequência. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

33. A aplicação é desnecessariamente complexa. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

34. Penso que a aplicação é fácil de utilizar. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

35. Penso que preciso de ajuda de um técnico para conseguir utilizar a aplicação. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

36. Achei que as diversas funções desta aplicação foram bem integradas. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

37. Achei que existem muitas inconsistências na aplicação. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

38. Imagino que a maioria das pessoas conseguem aprender a utilizar a aplicação rapidamente. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

39. Achei a aplicação muito complicada de utilizar. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Discordo fortemente Concordo fortemente

40. Senti-me muito confiante a utilizar a aplicação. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Discordo fortemente Concordo fortemente

41. Preciso de aprender muitas coisas antes de usar a aplicação. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Discordo fortemente Concordo fortemente

Questionário
- Utilização
da aplicação

Neste questionário pretende-se que o participante faça uma análise adicional sobre a utilização da aplicação e indique os pontos fortes e pontos fracos da mesma. É constituído por x afirmações/questões onde são avaliados aspetos específicos da aplicação.

42. Numa escala de 0 a 10, em quanto avaliaria a pertinência desta tecnologia na monitorização de pacientes que utilizem ortóteses? *

Marcar apenas uma oval.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

43. A página do login é intuitiva. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

44. Fazer o registo pela primeira vez na aplicação é fácil e intuitivo. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

45. Alterar os dados pessoais é fácil e intuitivo. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

46. A ligação do Bluetooth e seleção do dispositivo "blueblue" é fácil e intuitiva. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

47. Começar a fazer aquisições através da seleção do serviço e da característica é fácil e intuitivo. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

48. Seria importante existir um botão para parar a aquisição. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

49. Seria importante ter uma fotografia do membro superior com cada local identificado e os valores desse local. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

50. Relativamente às funcionalidades atuais da plataforma, na sua opinião, o que poderia ser melhorado?

51. Na sua opinião, que novas funcionalidades seriam uma mais valia acrescentar à plataforma?

52. Tem algum comentário que gostasse de deixar ou alguma dúvida acerca do projeto que possamos esclarecer melhor?

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google.

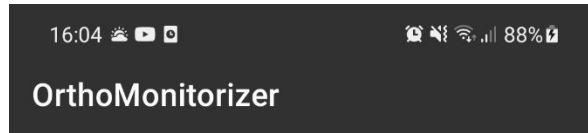
Google Formulários

MANUAL DE INSTRUÇÕES DA APLICAÇÃO PARA O PACIENTE

No presente anexo, apresenta-se o manual que serve de guião, para a utilização da aplicação por parte de um paciente.

Manual do Utilizador para os Pacientes

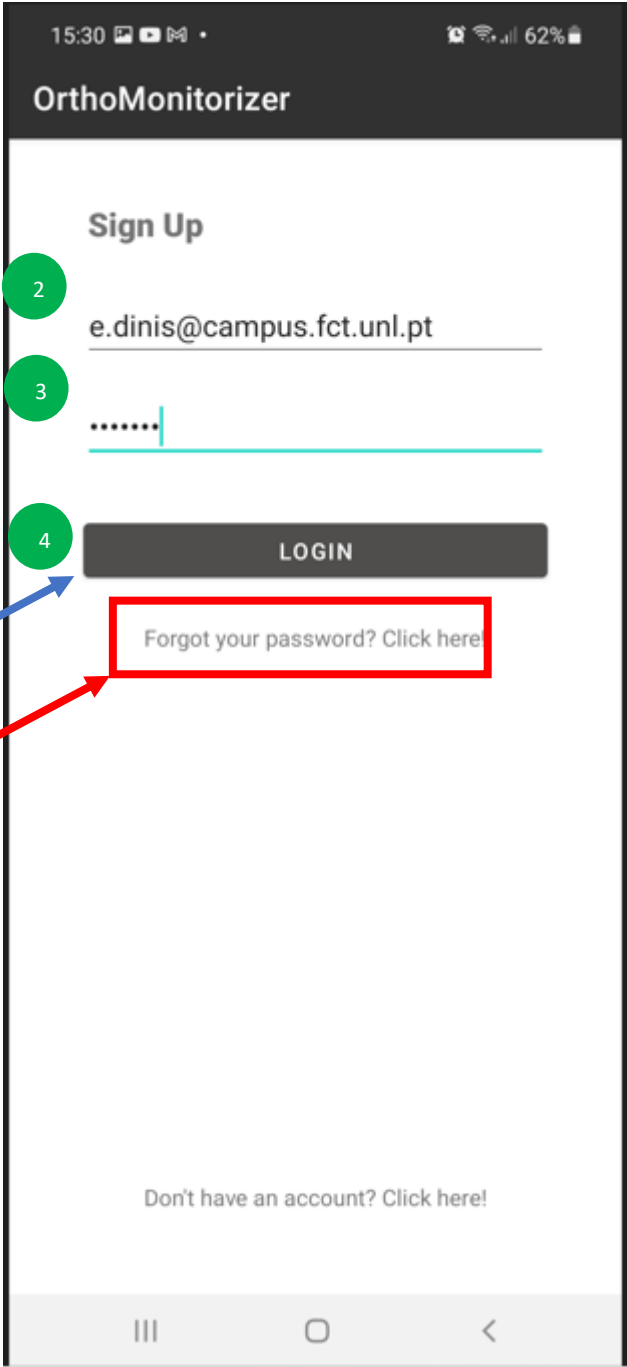
1. Abertura da aplicação – página principal



1 - Clicar em
"Login"



2. Fazer Login



The screenshot shows the OrthoMonitorizer app interface. At the top, the status bar displays the time 15:30, signal strength, Wi-Fi, and 62% battery. The app title "OrthoMonitorizer" is centered at the top. Below it, the "Sign Up" section contains an email input field with "e.dinis@campus.fct.unl.pt", a password input field with masked characters ".....", and a dark grey "LOGIN" button. A red box highlights the link "Forgot your password? Click here" below the password field. At the bottom, there is a link "Don't have an account? Click here!".


Annotations on the left side of the screen include:

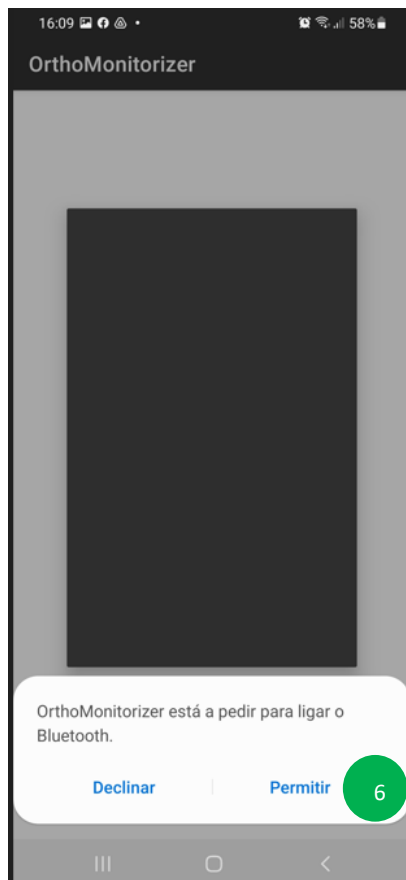
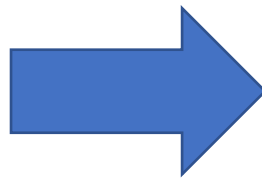
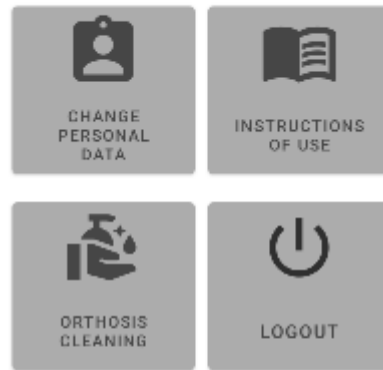
- A large blue arrow pointing right towards the email field.
- A green circle with the number "2" next to the email field.
- A green circle with the number "3" next to the password field.
- A green circle with the number "4" next to the "LOGIN" button.
- A red arrow pointing from the "Forgot your password? Click here" link to a text box.

Instructional text boxes on the left:

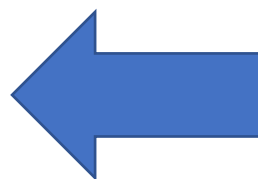
- 2 - Introduzir email
- 3 - Introduzir palavra-passe
- 4 - Clicar em Login
- Clicar aqui em caso de esquecimento da palavra-passe

3. Ligar o Bluetooth

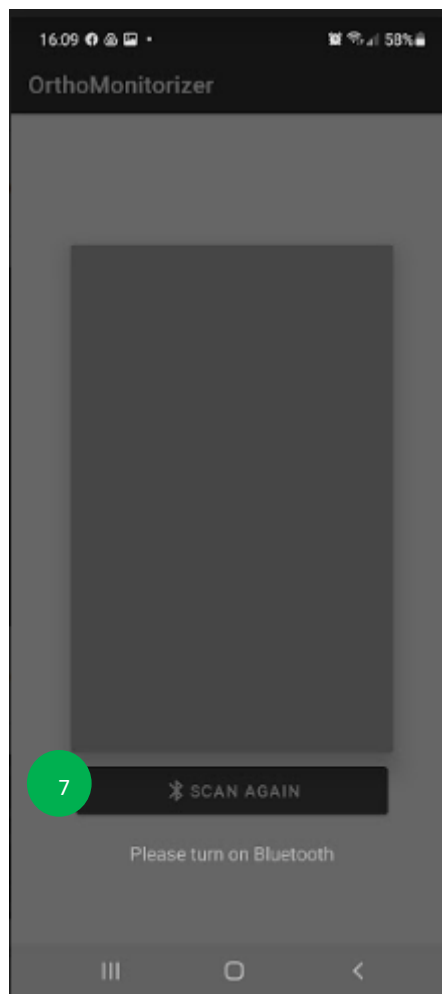
Clicar no ícone  para ligar o Bluetooth

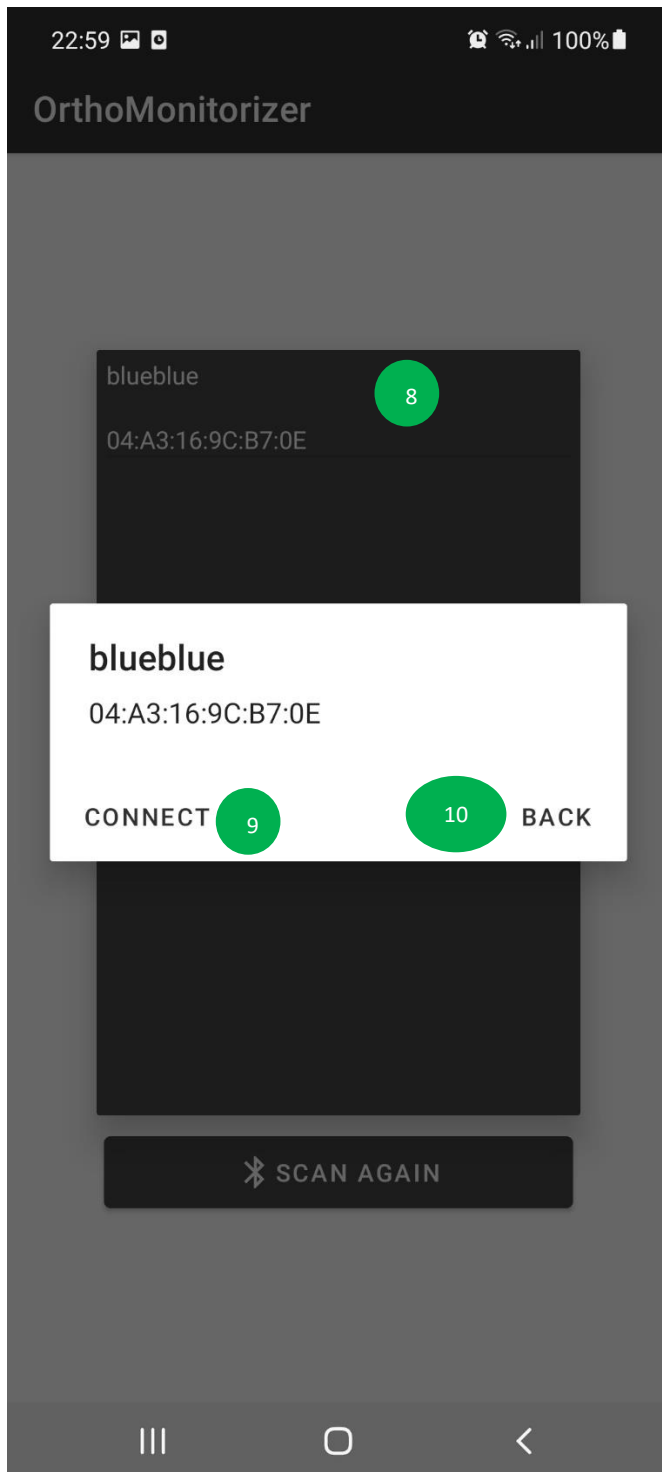


Clicar em “Permitir” (Esta opção apenas aparece caso o Bluetooth do telemóvel ou tablet estiver desligado)



Clicar em "Scan Again" (2 vezes)





8 - Seleccionar dispositivo com o nome **“blueblue”** (número do dispositivo é **04:A3:16:9C:B7:0E**)

9 - Clicar em **“Connect”**

10 – Para retroceder, clicar em **“Back”**

Começar os registos

Clicar em **Data acquisition** e de seguida duas vezes em “To start!”

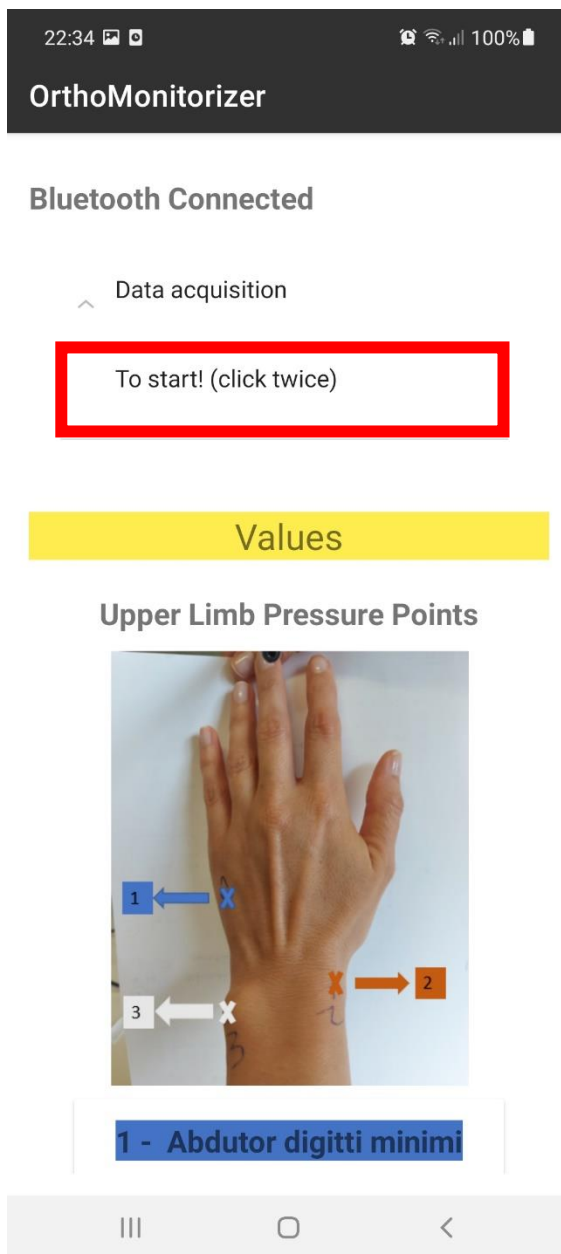
Clica-se 2 vezes para começar o registo dos dados (deve ser possível ver os valores a alterarem com o passar do tempo)

Nota

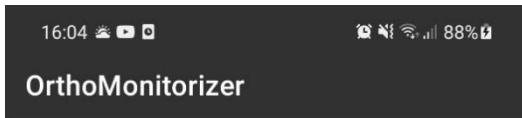
No primeiro clique aparecem os últimos valores medidos. No segundo clique começa o registo.

Parar os registos

Para parar o registo basta sair da aplicação (tirar a aplicação do fundo) desconectar o dispositivo da fonte de alimentação. Desligando o Bluetooth do telemóvel ou tablet ou o Wi-Fi também



Fazer o Registo na Aplicação



1 - Clicar em "Register"



Patient Register

Name

Date of Birth

Gender Female Male

Address

Phone Number

Email

Health No

Password

Confirm Password

By ticking this box you agree with the storage and handling of your data by Ortho-Monitorizer.

REGISTER

Already have an account? [Click Here.](#)

2 – Preencher cada um dos campos.

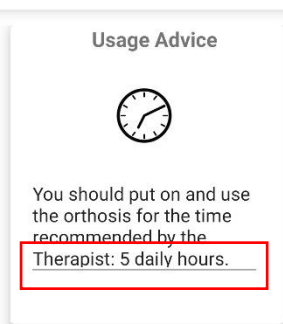
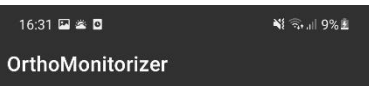
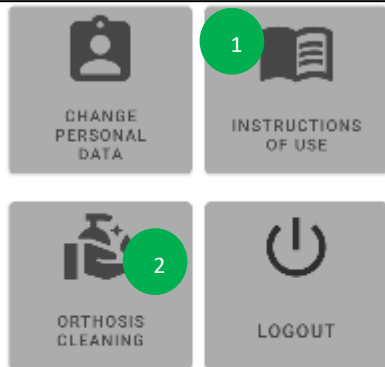
3 – Preencher caixa em como concorda com a recolha dos dados.

4 – Clicar em “Register”.

Visualizar Instruções e Cuidados

1 – Clicar no botão “Instructions of Use”

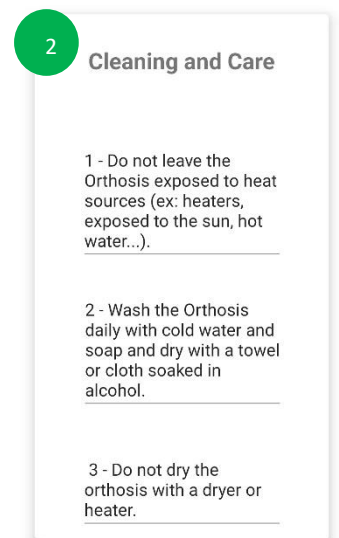
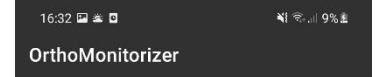
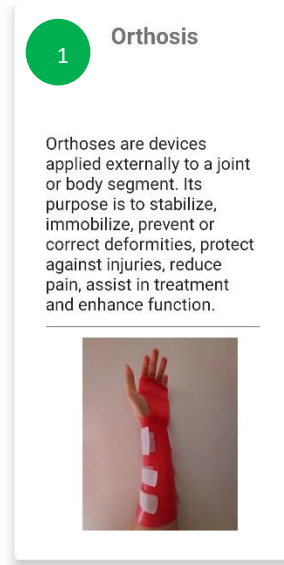
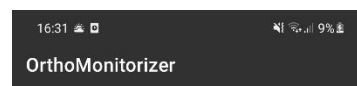
2 – Clicar no botão “Orthosis Cleaning”



WARNING!



If the Orthosis is hurting, causing pressure points, or causing any type of redness or allergy, contact the Therapist who created the Orthosis, and stop using it at that time.



Aqui é possível ver o número de horas prescrito.



2022 Validação de processos de trabalho para a certificação de competências dos estudantes do curso de Engenharia de Produção

