



DEPARTAMENTO DE
FÍSICA

MARIANA PEREIRA DA SILVA

Licenciada em Ciências de Engenharia Biomédica

TELEREHASYNC: PLATAFORMA INTEGRADORA DE DADOS DE DISPOSITIVOS WEARABLE E SISTEMAS OPTOELETRÓNICOS

MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

Universidade NOVA de Lisboa
Novembro, 2025

TELEREHASYNC: PLATAFORMA INTEGRADORA DE DADOS DE DISPOSITIVOS WEARABLE E SISTEMAS OPTOELETRÓNICOS

MARIANA PEREIRA DA SILVA

Licenciada em Ciências de Engenharia Biomédica

Orientadora: Doutora Carla Maria Quintão Pereira,
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Coorientadora: Doutora Cláudia Regina Pereira Quaresma,
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Célia Maria Reis Henriques,
Professora Associada, FCT-NOVA

Arguente: Doutor José Manuel Matos Ribeiro da Fonseca,
Professor Associado, FCT-NOVA

Orientadora: Doutora Carla Maria Quintão Pereira,
Professora Auxiliar, FCT-NOVA

TeleRehaSync: plataforma integradora de dados de dispositivos *wearable* e sistemas optoeletrónicos

Copyright © Mariana Pereira da Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

No presente trabalho foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa, nomeadamente *ChatGPT (GPT-5)* e *DeepSeek (DeepSeek-V3.1)*, para auxílio na correção de código da plataforma e na reformulação de texto escrito. Estas ferramentas foram empregues sob a supervisão da autora e todos os conteúdos gerados foram verificados quanto à sua precisão. A autoria e a validação dos conteúdos permanecem inteiramente sob a responsabilidade da autora, estando a utilização de inteligência artificial em conformidade com as normas institucionais de integridade académica.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus amigos e família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha orientadora e à minha coorientadora, Professora Carla Quintão e Professora Cláudia Quaresma, por me terem permitido participar neste projeto que tanto gostei de realizar. Sem o vosso apoio, sugestões e boa disposição este percurso teria sido completamente diferente. Foram as vossas palavras encorajadoras e risos contagiantes que tornaram esta experiência tão gratificante.

Quero agradecer à equipa do Centro de Medicina de Reabilitação de Alcoitão, sobretudo à fisiatra Isabel Amorim e à engenheira Mariana Matos pela disponibilidade e interesse demonstrado. Agradeço também às participantes deste estudo por toda a paciência e a todos os que me deram conselhos ao longo do caminho.

Um especial agradecimento à Bea, que foi o meu braço direito durante estes meses. Não esquecerei todas as noites passadas no laboratório e toda a ajuda que me deste.

Aos amigos que fiz na faculdade, estarão sempre guardados no meu coração, especialmente vocês, Sara e Daniela, que foram as minhas psicólogas pessoais e me proporcionaram uma experiência incrível. À Dânia, que em tão pouco tempo tornou os primeiros momentos desta jornada tão impactantes.

Aos amigos de sempre, obrigada por fazerem cada dia valer a pena. Em particular, à Adri, Maggie, Marta, Matilde, Pipa, Sofi Po, Sofi Santos, Susi e Telmi, por terem crescido ao meu lado e partilhado tantos momentos comigo.

Finalmente, um enorme agradecimento à minha família, que está sempre a torcer por mim em voz alta – à minha gémea, aos meus pais, aos meus primos, aos meus avós e à minha madrinha – obrigada por acreditarem sempre em mim.

“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.” (Antoine de Saint-Exupéry).

RESUMO

A telereabilitação tem vindo a ganhar relevância como complemento às terapias convencionais, permitindo que os pacientes realizem exercícios remotamente. Contudo, as soluções atuais enfrentam uma limitação crítica: a escassez de medidas quantitativas para monitorizar o desempenho e apoiar a decisão clínica, o que compromete a avaliação da evolução do paciente.

Para colmatar esta lacuna, foi desenvolvida a *TeleRehaSync*, uma plataforma que combina dados qualitativos e quantitativos, adaptada a diferentes perfis de utilizador. Pode ser utilizada em telereabilitação, através da monitorização remota com dados fisiológicos e cinemáticos recolhidos pela *t-shirt Hexoskin*, um dispositivo *wearable*, mas também como complemento à avaliação presencial, integrando simultaneamente dados da *Hexoskin* e de um sistema optoeletrónico. A plataforma permite gerir registos de administradores, profissionais de saúde e pacientes, criar planos de tratamento personalizados com exercícios incorporados, arquivar e editar perfis, bem como recolher métricas de desempenho e *feedback* dos pacientes.

Para demonstrar o funcionamento da plataforma foi conduzido um estudo experimental com recurso à *Hexoskin* e ao sistema de captura de movimento *Qualisys*. Os dados cinemáticos adquiridos com o *Qualisys* foram processados no *Visual3D*, através de um modelo biomecânico. Posteriormente, todos os dados recolhidos foram sincronizados e integrados na plataforma, evidenciando a sua capacidade de combinar diferentes fontes de informação.

A *TeleRehaSync* apresenta, assim, potencial de aplicação tanto na telereabilitação como em contexto clínico presencial, promovendo uma prática de reabilitação mais personalizada e sustentada em métricas objetivas.

Palavas chave: Telereabilitação, Dispositivos *wearable*, Sinais eletrofisiológicos e cinemáticos, *TeleRehaSync*

ABSTRACT

Telerehabilitation has been gaining relevance as a complement to conventional therapies, allowing patients to perform exercises remotely. However, current solutions face a critical limitation: the scarcity of quantitative measures to monitor performance and support clinical decision-making, which compromises the assessment of patient progress.

To fill this gap, TeleRehaSync was developed, a platform that combines qualitative and quantitative data, adapted to different user profiles. It can be used in telerehabilitation, through remote monitoring with physiological and kinematic data collected by the Hexoskin t-shirt, a wearable device, but also as a complement to face-to-face assessment, simultaneously integrating data from Hexoskin and an optoelectronic system. The platform allows administrators, healthcare professionals, and patients to manage records, create personalized treatment plans with built-in exercises, archive and edit profiles, and collect performance metrics and patient feedback.

To demonstrate how the platform works, an experimental study was conducted using Hexoskin and the Qualisys motion capture system. The kinematic data acquired with Qualisys was processed in Visual3D using a biomechanical model. Subsequently, all the data collected was synchronized and integrated into the platform, demonstrating its ability to combine different sources of information.

TeleRehaSync thus has potential for application in both telerehabilitation and face-to-face clinical settings, promoting a more personalized rehabilitation practice based on objective metrics.

Keywords: Telerehabilitation, Wearable devices, Electrophysiological and kinematic signals, TeleRehaSync

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura da dissertação.....	2
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
2.1	Artrologia e biomecânica	3
2.2	Reabilitação	5
2.2.1	Profissionais de saúde de reabilitação	5
2.2.2	Intervenção em contexto clínico	7
2.2.3	Telereabilitação	7
2.3	Dispositivos <i>wearable</i>	8
2.4	Sistemas Optoeletrônicos.....	9
2.5	Sinais e parâmetros eletrofisiológicos e cinemáticos	10
3	ESTADO DA ARTE.....	13
4	DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA <i>TELEREHASYNC</i>.....	17
4.1	Pré-requisitos.....	18
4.2	Arquitetura	19
4.2.1	Base de dados.....	19
4.3	Descrição da plataforma <i>TeleRehaSync</i>	20

4.3.1	Login.....	20
4.3.2	Página inicial	21
4.3.3	Menus principais	21
4.3.4	Funcionalidades por tipo de Utilizador	22
4.3.5	Adicionar utilizador e paciente	23
4.3.6	Fichas e Perfil de utilizador e paciente	24
4.3.7	Planos de tratamento.....	26
4.3.8	Sessões de tratamento: <i>feedback</i> e avaliação clínica	27
4.3.9	Dados eletrofisiológicos e cinemáticos	29
5	PROCESSO EXPERIMENTAL.....	31
5.1	Participantes	31
5.2	Protocolo experimental	31
5.3	Sincronização e Processamento de dados.....	35
5.3.1	Procedimentos de Sincronização.....	35
5.3.2	Processamento de Dados - <i>t-shirt Hexoskin</i>	36
5.3.3	Processamento de Dados - sistema <i>Qualisys</i> e <i>Visual3D</i>	37
5.4	Considerações complementares.....	38
6	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	39
6.1	Dados da <i>t-shirt Hexoskin</i>	39
6.2	Dados do sistema <i>Qualisys</i> e <i>Visual3D</i>	41
7	CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Movimentos estudados: A – flexão/extensão da parte lombar da coluna vertebral; B – abdução/adução do ombro; C – flexão/extensão da anca e do tornozelo; D – flexão/extensão do joelho.....	5
Figura 2.2: Dispositivo de captura da <i>Hexoskin</i> (à esquerda). Localização dos sensores cardíacos e respiratórios da <i>t-shirt</i> (à direita).	9
Figura 4.1: Logótipo da plataforma <i>TeleRehaSync</i>	17
Figura 4.2: Página de <i>login</i>	21
Figura 4.3: Página inicial do administrador.....	21
Figura 4.4: Página “Consultar Utilizadores” do administrador.	22
Figura 4.5: Página “Consultar os seus Pacientes” do profissional de saúde.....	23
Figura 4.6: Formulário de adicionar um novo utilizador com mensagem de erro.	24
Figura 4.7: Dependência dos campos de departamentos e profissionais de saúde responsáveis do formulário de adicionar novo paciente.....	24
Figura 4.8: Ficha do paciente da interface do profissional de saúde.....	25
Figura 4.9: Perfil do paciente.	26
Figura 4.10: Página dos detalhes do plano da interface do paciente.....	27
Figura 4.11: Página apresentada ao paciente ou profissional de saúde ao selecionar “Começar Sessão”.	28
Figura 4.12: Formulário de <i>feedback</i> do exercício.....	28
Figura 4.13: Exemplo de ECG da página de relatório dos dados (secção da <i>Hexoskin</i>) da interface do profissional de saúde.	30
Figura 4.14: Página de relatório dos dados (secção do <i>Visual3D</i>) da interface do profissional de saúde.	30

Figura 5.1: Marcas refletoras de 14 mm e 8 mm (à esquerda). Câmara <i>Miquis M3</i> do <i>Qualisys</i> (à direita).....	32
Figura 5.2: Esquema do estímulo utilizado para sincronização, destacando a vareta do <i>Qualisys</i> , a marca refletora e o dispositivo de captura da <i>t-shirt</i>	33
Figura 5.3: Exemplo de um gráfico de aceleração nas componentes <i>x</i> , <i>y</i> e <i>z</i> da <i>Hexoskin Dashboard</i>	35
Figura A.1: Relações entre as tabelas da base de dados.....	54
Figura A.2: Fluxograma do <i>login</i>	55
Figura A.3: Fluxograma dos menus "Consultar Utilizadores" e "Consultar Pacientes" do administrador.....	56
Figura A.4: Fluxograma do menu "Arquivados" do administrador.	56
Figura A.5: Menu de "Consultar os seus Pacientes" da interface do profissional de saúde. ..	58
Figura A.6: Formulário de criação de um novo plano de tratamento da interface do profissional de saúde.	58
Figura A.7: Detalhes de um plano de tratamento existente na interface do profissional de saúde.	59
Figura A.8: Menu dos planos de tratamento da interface do paciente.	60
Figura A.9: Menus comuns a todos os perfis de utilizador.	60
Figura A.10: Página "Início" do profissional de saúde.	61
Figura A.11: Página "Início" do paciente.	61
Figura A.12: Página dos planos do paciente da interface do profissional de saúde.	62
Figura A.13: Parte inicial do formulário de criação de um novo plano de tratamento.	62
Figura A.14: Campos a preencher quando se adiciona um exercício a um plano de tratamento.	63
Figura A.15: Campos adicionais quando o exercício é para ser realizado no hospital.	63
Figura A.16: Parte da interface do profissional de saúde com os estados de sessões e o relatório de uma sessão.	64
Figura A.17: Informações qualitativas do <i>feedback</i> do paciente da interface do profissional de saúde que criou o plano.....	64
Figura C.1: <i>Animation Optional Marker Set</i>	69
Figura C.2: Localização das 4 câmaras <i>Miquis M3</i> durante o procedimento experimental.	70
Figura C.3: Modelo biomecânico com os eixos das coordenadas em cada segmento.	70

Figura C.4: Atividade 1 - ombros em abdução entre 45° e 90°, cotovelos em extensão (posição inicial).....	72
Figura C.5: Atividade 2 - flexão da coxo-femoral e do joelho direito nas perspectivas frontal e sagital.	72
Figura C.6: Atividade 3 - flexão da coxo-femoral e do joelho esquerdo nas perspectivas frontal e sagital.	72
Figura C.7: Atividade 4 - preensão do objeto e abdução controlada do ombro direito até ~90° e cotovelo em extensão e punho em posição neutra.	73
Figura C.8: Atividade 5 - flexão simultânea da coxo-femoral e joelhos até ~45° nas perspectivas frontal e sagital.....	73
Figura C.9: Gráficos dos ângulos do movimento da atividade 1 da articulação lombo-sagrada.	79
Figura C.10: Gráficos dos ângulos do movimento da atividade 2 das articulações da anca e do joelho.	80
Figura C.11: Gráficos dos ângulos do movimento da atividade 3 das articulações da anca e do joelho.	80
Figura C.12: Gráfico dos ângulos do movimento da atividade 4 da articulação do ombro. ...	81
Figura C.13: Gráficos dos ângulos do movimento da atividade 5 das articulações da anca, joelho e tornozelo.	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Dispositivos <i>wearable</i> do mercado.	15
Tabela 6.1: Parâmetros da frequência cardíaca e respiratória de todos os participantes por atividade.	40
Tabela 6.2: Parâmetros cinemáticos do movimento de todos os participantes para a atividade 1 e articulação lombo-sagrada.	41
Tabela 6.3: Parâmetros cinemáticos do movimento de todos os participantes para as atividades 2, 3, 4 e 5 e articulações relevantes.	42
Tabela C.1: Informações dos participantes.	68
Tabela C.2: Definição das marcas refletoras na construção do modelo biomecânico.....	74
Tabela C.3: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 1 de todos os participantes.....	75
Tabela C.4: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 2 de todos os participantes.....	76
Tabela C.5: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 3 de todos os participantes.....	76
Tabela C.6: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 4 de todos os participantes.....	77
Tabela C.7: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 5 de todos os participantes.....	77
Tabela C.8: Parâmetros cinemáticos do movimento de todos os participantes para as atividades 2 a 5.....	78

SIGLAS

AVC	Acidente vascular cerebral
CMRA	Centro de Medicina e Reabilitação de Alcoitão
ECG	Eletrocardiograma

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O acesso à reabilitação após alta hospitalar é limitado, devido à escassez de profissionais de saúde e às dificuldades de deslocação dos pacientes com incapacidades físicas [1], [2]. A pandemia COVID-19 agravou estas limitações, acelerando a procura de alternativas remotas, como a telereabilitação [2], [3].

A telereabilitação refere-se à prestação de serviços de reabilitação à distância através da tecnologia, possibilitando a transição dos cuidados do ambiente clínico para o domicílio e assegurando a continuidade do acompanhamento a longo prazo [4]. Apesar do seu crescimento, persistem desafios, nomeadamente garantir a execução correta dos exercícios prescritos, dado que a eficácia da reabilitação depende da precisão dos movimentos [5]. Atualmente, muitas plataformas digitais utilizam avaliações subjetivas ou vídeos, o que compromete a monitorização detalhada e a avaliação do progresso.

A integração de dispositivos *wearable* nas plataformas surge como uma resposta promissora, ao possibilitar a recolha de dados fisiológicos e cinemáticos em tempo real. Esta abordagem permite um acompanhamento mais rigoroso e personalizado, com base em métricas objetivas. Contudo, persistem obstáculos: a fiabilidade das medições e a interoperabilidade entre os dispositivos e as plataformas [6].

Para tornar a telereabilitação eficaz e escalável, é essencial ultrapassar estas limitações. Esta dissertação contribui para esse avanço através da integração de uma *t-shirt wearable* com sensores fisiológicos numa plataforma digital de reabilitação remota, promovendo um acompanhamento mais objetivo do estado funcional dos pacientes, relacionando métricas objetivas com o *feedback* qualitativo do paciente e a observação do profissional de saúde.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento da plataforma *TeleRehaSync*, concebida para suportar a telereabilitação através da integração de medidas objetivas, garantindo uma monitorização rigorosa da execução dos exercícios e tratamentos mais personalizados e eficazes. Para tal, foram realizadas as seguintes tarefas:

1. Definir e implementar a estrutura da plataforma, garantindo uma interface interativa adaptada a diferentes perfis de utilizador.
2. Integrar os dados fisiológicos e de movimento da *t-shirt Hexoskin* e os dados cinemáticos do sistema *Qualisys*.
3. Sincronizar e pré-processar os dados dos dois sistemas, assegurando coerência temporal e preparação adequada para análise e visualização.
4. Implementar um *pipeline* de processamento e filtragem de dados, de forma a melhorar a sua qualidade.
5. Validar a qualidade dos dados analisando a fiabilidade e consistência das medições em diferentes atividades motoras.
6. Explorar o potencial de monitorização contínua e personalizada, discutindo benefícios e limitações da solução proposta para aplicação em contextos clínicos reais.

Assim, este trabalho procura contribuir para a evolução da telereabilitação, ao propor uma plataforma prática, centrada no utilizador e sustentada por tecnologias de monitorização fiável. O trabalho de investigação descrito nesta dissertação foi realizado de acordo com as normas estabelecidas no código de ética da Universidade Nova de Lisboa. O trabalho escrito e o material apresentado nesta dissertação, com as exceções claramente indicadas, constituem trabalho original realizado pela autora.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em sete capítulos. O primeiro apresenta a contextualização, a motivação e os objetivos. O segundo introduz os conceitos teóricos fundamentais, e o terceiro faz a revisão do estado da arte, com foco na telereabilitação e na monitorização remota com *wearables*. O quarto capítulo detalha o desenvolvimento da plataforma. O quinto aborda o processo experimental, abrangendo participantes, protocolo, sincronização, processamento de dados e considerações complementares. O sexto capítulo apresenta os resultados e a respetiva análise, enquanto o sétimo encerra com conclusões e perspetivas para trabalhos futuros.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo apresenta os conceitos teóricos essenciais à compreensão do trabalho desenvolvido, incluindo princípios de artrologia e biomecânica aplicados aos movimentos analisados em contexto de reabilitação. São abordados o conceito de reabilitação, o papel dos diferentes profissionais de saúde e as práticas clínicas habituais, seguidos da telereabilitação como alternativa digital ao modelo tradicional. Introduzem-se também os dispositivos *wearable* para monitorização fisiológica, os sistemas optoeletrónicos para análise de movimento, e os conceitos de sinais e parâmetros eletrofisiológicos e cinemáticos, fundamentais para uma avaliação objetiva da execução dos exercícios.

2.1 Artrologia e biomecânica

A artrologia é o ramo da anatomia que estuda as articulações, abrangendo a sua estrutura, função e movimentos. As articulações unem dois ou mais ossos e, segundo o grau de mobilidade, classificam-se em sinartroses (imóveis, ex: suturas cranianas), anfiartroses (semimóveis, ex: intervertebrais) e diartroses (móveis, como o ombro, a anca e o joelho). As anfiartroses permitem deslocamentos limitados, dividindo-se em sínfises, com superfícies planas, e gonfoses, com superfícies curvas [7]. As diartroses, essenciais à locomoção e execução de tarefas do quotidiano [8], são o foco deste trabalho, incluindo ainda a articulação lombo-sagrada, uma anfiartrose importante para a mobilidade do tronco em relação à pelve.

Nas diartroses, a cápsula fibrosa, reforçada por ligamentos, envolve a membrana sinovial, responsável pela produção do líquido sinovial que lubrifica e nutre a cartilagem articular, compensando a ausência de irrigação sanguínea [7], [8]. A cartilagem, o líquido sinovial e a membrana sinovial formam a cavidade articular, espaço potencial de movimento. Entre os

subtipos destacam-se as esferoideias, que permitem movimentos multidirecionais e rotação, os gínglimos, limitados à flexão e extensão, e as elipsoideias, que permitem deslocamento em dois planos sem rotação [7].

Na presente dissertação são considerados principalmente os movimentos de flexão, extensão, abdução, adução e rotação. A flexão ocorre no plano sagital, no sentido anterior; a extensão no sentido posterior. A abdução afasta o segmento do eixo médio, a adução aproxima-o, ambas no plano frontal. A rotação dá-se em torno de um eixo longitudinal [7].

Após a descrição dos principais movimentos articulares, segue-se a análise da sua ocorrência em articulações específicas. A primeira a considerar é a articulação lombo-sagrada, formada pela quinta vértebra lombar (L5) e o sacro (S1), uma sínfise que permite flexão e extensão ($\sim 45^\circ$) no eixo sagital, com ligeira predominância da extensão entre L5-S1. A inclinação lateral ocorre no eixo frontal, com amplitude média de 20° para cada lado (quase nula entre L5-S1). A rotação axial ($\sim 10^\circ$) dá-se em torno do eixo horizontal para ambos os lados [7].

A articulação do ombro, ou escapulo-umeral, é esferoideia entre a cabeça do úmero e a cavidade glenoidal da escápula. Permite antepulsão ($\sim 160^\circ$), retropulsão ($\sim 40^\circ$), abdução ($\sim 160^\circ$), adução ($\sim 30^\circ$), rotação lateral ($\sim 40^\circ$), rotação medial ($\sim 95^\circ$) e circundação. A antepulsão e a retropulsão ocorrem em torno do eixo transversal, a abdução e a adução do eixo ântero-posterior, ambos os eixos passam pela cabeça do úmero, e as rotações ocorrem em torno de um eixo longitudinal que atravessa a cabeça do úmero e pelo processo estilóide da ulna [7].

A articulação da anca, ou coxo-femoral, também esferoideia, liga a cabeça do fêmur e o acetábulo do coxal. Permite flexão ($\sim 120^\circ$) e extensão ($\sim 15^\circ$), em torno de um eixo horizontal, abdução ($\sim 45^\circ$) e adução ($\sim 30^\circ$), num eixo ântero-posterior e rotação medial ($\sim 45^\circ$) e lateral ($\sim 30^\circ$), em torno de um eixo vertical. Todos os eixos atravessam a cabeça do fêmur [7].

A articulação do joelho é formada pelo fêmur, tíbia e patela e é constituída pelas articulações secundárias fêmoro-patelar (gínglimo) e fêmoro-tibial (bi-elipsoideia). Permite flexão passiva ($\sim 150^\circ$), flexão ativa com a anca fletida ($\sim 140^\circ$) e flexão ativa com a anca em hiperextensão ($\sim 120^\circ$), extensão passiva ($0^\circ - 5^\circ$) em torno de um eixo transversal que atravessa os côndilos do fêmur. Também possibilita rotação medial e lateral em torno de um eixo longitudinal que atravessa o corpo do fêmur, sendo estes movimentos possíveis apenas com o joelho em flexão, e apresentando uma amplitude muito reduzida [7].

A articulação do tornozelo, ou talo-crural, é do tipo gínglimo entre a tíbia, fíbula e tálus. Realiza flexão dorsal ($\sim 25^\circ$) e flexão plantar ($\sim 45^\circ$), no eixo transversal que passa pelos maléolos. Permite ainda abdução ($\sim 30^\circ$) e adução (30°), no eixo vertical que atravessa a perna.

Movimentos de supinação (rotação da planta do pé para medial) e pronação (rotação da planta do pé para lateral) ocorrem no eixo oblíquo que atravessa a articulação do tornozelo [7].

A Figura 2.1 ilustra alguns dos principais movimentos estudados nesta dissertação para cada articulação descrita acima.

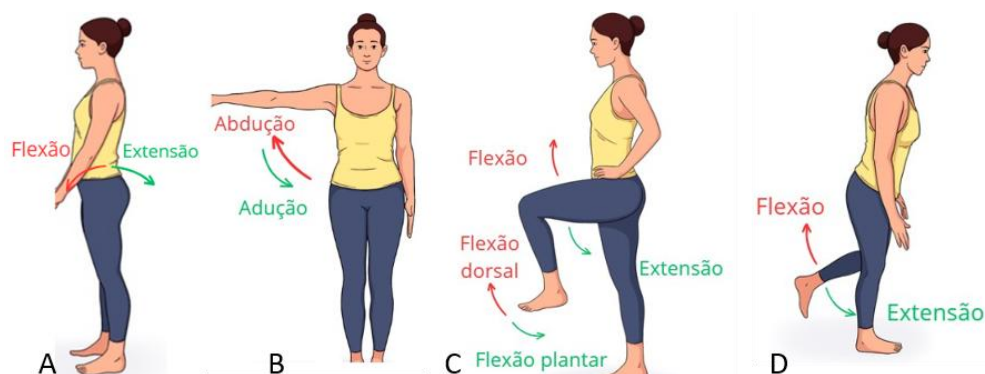


Figura 2.1: Movimentos estudados: A – flexão/extensão da parte lombar da coluna vertebral; B – abdução/adução do ombro; C – flexão/extensão da anca e do tornozelo; D – flexão/extensão do joelho. (Adaptado de [9], [10]).

2.2 Reabilitação

A reabilitação é um processo essencial para restaurar ou maximizar a funcionalidade e qualidade de vida de indivíduos com limitações físicas, neurológicas ou sensoriais. Envolve intervenções estruturadas que promovem a autonomia e a participação social, sendo adaptadas às condições clínicas e objetivos terapêuticos de cada paciente [11]. Este processo é conduzido por equipas multidisciplinares especializadas.

Embora a definição de reabilitação não seja totalmente consensual, é amplamente reconhecido o seu papel benéfico em diferentes contextos clínicos, desde situações agudas, como o acidente vascular cerebral (AVC) ou fraturas, até condições crónicas ou progressivas, incluindo esclerose múltipla, dor crónica, doença de Parkinson ou Alzheimer [12].

A intervenção pode ser realizada em diversos contextos, incluindo unidades de cuidados intensivos, centros de reabilitação, ambulatórios, lares de idosos ou mesmo no domicílio, devendo ser sempre adaptada às necessidades individuais do paciente [12].

2.2.1 Profissionais de saúde de reabilitação

O sucesso da reabilitação assenta na intervenção coordenada de diferentes profissionais de saúde, destacando-se o fisiatra, o fisioterapeuta, o terapeuta da fala e o terapeuta ocupacional.

O fisiatra, especializado em medicina física e de reabilitação, coordena cuidados entre as fases aguda até à reabilitação, assegurando transições entre serviços adaptadas às

necessidades individuais. Consultas precoces de fisioterapia podem reduzir o tempo de internamento, melhorar os resultados funcionais e facilitar o encaminhamento para o tipo de reabilitação mais adequado. Este profissional é especialmente relevante no tratamento de doentes com lesões traumáticas, que podem incluir fraturas, amputações, lesões vasculares ou nervosas periféricas, entre outras combinações de gravidade variável [13].

O fisioterapeuta atua na restauração, manutenção e melhoria do movimento e da funcionalidade, em conjunto com a equipa e o paciente. Além da componente técnica, a eficácia da intervenção deste profissional requer competências interpessoais para motivar e promover estratégias de autogestão, especialmente relevantes na telereabilitação, onde a adesão e o empenho individual são determinantes para o sucesso do tratamento [14], [15].

O terapeuta da fala avalia e trata perturbações da comunicação, fala e deglutição, frequentemente associadas a eventos neurológicos como o AVC. A intervenção é individualizada, podendo incluir exercícios de fortalecimento, treino de coordenação muscular e estratégias compensatórias para reduzir o impacto das sequelas [16].

O terapeuta ocupacional promove a participação em atividades diárias, intervindo em diferentes contextos, desde hospitais a ambientes comunitários. Atua na reabilitação física, saúde mental, prevenção de lesões e na promoção do envelhecimento ativo, com o objetivo de otimizar a qualidade de vida. A telereabilitação permite-lhe intervir diretamente no contexto real do paciente [17], favorecendo abordagens mais personalizadas e eficazes.

Em conjunto, estes profissionais combinam competências técnicas e estratégicas para restaurar a função, promover autonomia e adaptar as intervenções aos objetivos individuais de cada paciente.

Embora a intervenção em contexto clínico seja a abordagem mais convencional, realizando-se em sessões presenciais nas unidades de saúde, a telereabilitação surge como uma oportunidade para expandir a reabilitação ao domicílio e outros contextos reais do paciente. Ainda assim, existe uma lacuna significativa na telereabilitação: a falta de medidas objetivas que permitam quantificar o progresso do paciente à distância, limitando a monitorização e a personalização do tratamento. Os subcapítulos seguintes exploram ambas as abordagens, nomeadamente em 2.2.2, dedicado à intervenção em contexto clínico, e em 2.2.3, focado na telereabilitação.

2.2.2 Intervenção em contexto clínico

As intervenções clínicas são concebidas para responder a disfunções causadas por lesões, cirurgias, doenças neurológicas ou degenerativas, promovendo a recuperação da mobilidade, função e autonomia [11]. Estas intervenções baseiam-se normalmente no modelo biopsicossocial, que considera não apenas os aspetos físicos da condição, mas também os fatores psicológicos e sociais que influenciam a recuperação [12]. O processo inicia-se com avaliação detalhada, definição de objetivos e elaboração de um plano terapêutico personalizado, envolvendo o paciente, os familiares e a equipa multidisciplinar [18].

No âmbito do plano de intervenção, os exercícios físicos e funcionais são centrais, contribuindo para a prática de atividades relevantes do dia a dia e para o aumento da capacidade cardiorrespiratória e muscular. A educação do paciente, incluindo autogestão da doença e estratégias para lidar com os aspetos emocionais e sociais, complementa estas práticas, reforçando a participação ativa do indivíduo na sua própria recuperação. A frequência, intensidade e tipo de exercícios são adaptados às necessidades e objetivos específicos de cada paciente [12].

O acompanhamento é contínuo, permitindo que os profissionais avaliem a eficácia das intervenções e identifiquem possíveis efeitos adversos, ajustando ou redefinindo o plano sempre que necessário. Devido à complexidade deste processo, às diversas patologias envolvidas e às diferenças individuais, mesmo seguindo orientações clínicas gerais, cada tratamento é único e adaptado ao paciente, garantindo uma abordagem verdadeiramente personalizada [12].

2.2.3 Telereabilitação

A telereabilitação expande as práticas clínicas tradicionais, permitindo o acompanhamento e orientação dos pacientes à distância através de tecnologias de comunicação. Este acompanhamento pode ser síncrono, com supervisão direta e em tempo real numa videoconferência, ou assíncrono, em que o paciente realiza os exercícios de forma autónoma seguindo as orientações previamente fornecidas [2], [19].

A telereabilitação proporciona acesso a cuidados a pessoas em zonas remotas ou com mobilidade reduzida, potencia a continuidade do tratamento e adapta as intervenções ao ambiente real do paciente. O uso de objetos do quotidiano e a flexibilidade do formato não só promove a adesão ao plano terapêutico, como também contribui para poupar tempo e reduzir custos associados às deslocações das sessões presenciais [2], [19].

A crescente relevância da telereabilitação tem impulsionado recentemente o desenvolvimento de múltiplas ferramentas e modelos de intervenção, que serão explorados no capítulo 3. Neste contexto, torna-se fundamental compreender o papel dos dispositivos *wearable*, dos sistemas optoeletrônicos e da análise de sinais eletrofisiológicos e cinemáticos, uma vez que estes recursos tecnológicos potenciam a aplicação da telereabilitação e enriquecem a própria prática clínica. Esses aspetos serão aprofundados nos subcapítulos seguintes.

2.3 Dispositivos *wearable*

Os dispositivos *wearable* integram sensores especializados, como os fisiológicos [20], eletromiográficos e de movimento, para recolha de sinais biológicos e físicos, valiosos no diagnóstico precoce e no apoio ao tratamento [21]. Na reabilitação, fornecem *biofeedback* durante exercícios, beneficiando especialmente pacientes com doenças neurológicas [22]. Podem ser categorizados segundo os parâmetros medidos e as zonas do corpo monitorizadas [23], incluindo exemplos como *smartwatches* ou têxteis [21], com sensores incorporados, que possibilitam a monitorização contínua.

Apesar das vantagens, como a facilidade de utilização, a recolha de dados em tempo real e a integração em plataformas digitais, apresentam limitações. A instabilidade do contacto dos sensores com a pele pode comprometer a qualidade dos dados, exigindo filtros para atenuar o ruído, e a durabilidade dos têxteis é reduzida quando sujeitos a lavagens repetidas [23].

Um exemplo amplamente utilizado é a *Hexoskin*, composta por uma *t-shirt* e uma plataforma digital associada. Este sistema permite a monitorização não invasiva da saúde em atividades diárias e durante o sono. A *t-shirt* é leve, confortável, lavável e de secagem rápida e tem incorporados três tipos de sensores: um acelerómetro triaxial, dois sensores de respiração e três sensores cardíacos [24].

O acelerómetro, com taxa de aquisição de 64 Hz, incorporado no dispositivo da Figura 2.2, mede movimentos corporais, postura, intensidade da atividade e padrões de sono, permitindo ainda calcular a contagem de passos, a cadência, o comprimento da passada e estimar as calorias queimadas [24].

Os sensores de respiração, com 2 canais e taxa de aquisição de 128 Hz, posicionados ao redor do tórax e abdómen, registam variações circunferenciais que permitem extrair parâmetros como frequência respiratória, volume pulmonar e padrões respiratórios em atividade e repouso [24].

Os sensores cardíacos (eletrocardiograma (ECG) de 1 derivação, taxa de aquisição de 256 Hz e resolução de 12 *bits*) registam continuamente o ECG, a frequência cardíaca e a variabilidade da frequência cardíaca [24]. Dois elétrodos estão posicionados na região frontal da *t-shirt*, próximos do coração, e o terceiro no lado direito mais abaixo. A localização dos sensores cardíacos e respiratórios encontra-se ilustrada na Figura 2.2.

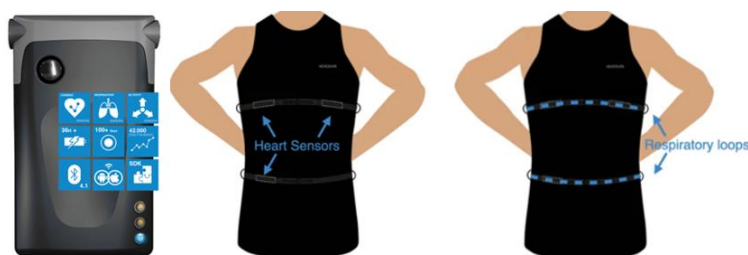


Figura 2.2: Dispositivo de captura da *Hexoskin* (à esquerda). Localização dos sensores cardíacos e respiratórios da *t-shirt* (à direita). (Retirados de [25], [26]).

Para reduzir artefactos causados pelo mau contacto ou movimento, recomenda-se o uso de gel condutor e ajuste adequado das bandas elásticas da *t-shirt*. A *Hexoskin* fornece dados contínuos e objetivos, que podem ser integrados em plataformas digitais, tornando-a potencialmente útil na reabilitação remota e no ambiente clínico. A sua fiabilidade e aplicabilidade são suportadas por mais de 250 publicações científicas [27], evidenciando o valor da tecnologia. Apesar do potencial, não foi concebida nem comercializada como uma solução de telereabilitação.

2.4 Sistemas Optoeletrónicos

Os sistemas optoeletrónicos captam sinais e parâmetros cinemáticos, como aceleração, ângulos articulares, deslocamento e velocidade, através de câmaras e luz infravermelha [28]. A luz refletida por marcadores colocados nos segmentos corporais é processada por um *software*, permitindo reconstruir movimentos em três dimensões com elevada precisão.

Uma das técnicas mais utilizadas é o protocolo *CAST* (*Calibrated Anatomical System Technique*), que recorre a *clusters* de marcadores fixos em segmentos ósseos. Após uma calibração estática inicial, que define os pontos anatómicos de interesse, apenas os *clusters* são mantidos durante a captura dinâmica, sendo os restantes pontos reconstruídos pelo *software* [28].

Um exemplo representativo é o sistema *Qualisys*, amplamente utilizado em investigação. A calibração é realizada com uma vareta, que define o volume de captura, e um “L”, que orienta o sistema de coordenadas [29]. Este processo assegura a qualidade e fiabilidade dos dados.

Estes sistemas permitem análises detalhadas do movimento e podem validar dados provenientes de dispositivos *wearable*, aumentando a fiabilidade das medições em contextos de reabilitação. Contudo, o seu custo elevado, a necessidade de calibração rigorosa e a exigência de condições controladas restringem a aplicação a ambientes laboratoriais [30].

2.5 Sinais e parâmetros eletrofisiológicos e cinemáticos

Neste projeto foram utilizados sinais que permitem monitorizar de forma objetiva e contínua o estado físico e funcional dos participantes. Entre os sinais eletrofisiológicos destaca-se o ECG, do qual se derivam parâmetros como a frequência cardíaca; já a frequência respiratória é obtida a partir de sensores de respiração. Os sinais cinemáticos incluem aceleração, velocidade e deslocamento angular, a partir dos quais se calculam métricas da marcha, como número de passos e cadência.

O ECG mede a atividade elétrica cardíaca, permitindo identificar arritmias e outras patologias cardiovasculares. Tradicionalmente limitado a hospitais, atualmente integra-se em dispositivos *wearable*, possibilitando a monitorização diária da saúde [21] e a deteção precoce de anomalias [20]. O sinal é composto pela onda P, complexo QRS e onda T [20], [31], sendo o QRS fundamental para identificar o início e o fim de cada ciclo [20].

A deteção fiável do QRS é crucial para calcular a frequência cardíaca e depende da taxa de amostragem. Ajdaraga e Gusev (2017) concluíram que uma frequência de 120-240 Hz é suficiente, equilibrando precisão e eficiência computacional. Quanto à resolução, 10 bits são aceitáveis, embora 12 bits garantam mais precisão [32]. Após detetados os QRS, a frequência cardíaca pode ser reportada a uma taxa de 1 Hz, devido à sua variação lenta. Apesar das vantagens do ECG em dispositivos *wearable*, movimentos ou interferências podem originar erros na deteção do complexo QRS. A precisão depende do contacto adequado dos elétrodos com a pele [33]. A frequência cardíaca, expressa em batimentos por minuto, é um indicador do esforço físico e da saúde cardiovascular.

A frequência respiratória, normalmente entre 12 e 20 respirações por minuto (0,2-0,33 Hz) em adultos saudáveis, é sensível a fatores fisiológicos e de stress, como fadiga ou temperatura corporal. Pelo Teorema de *Nyquist*, a taxa de amostragem deve ser superior ao dobro da frequência máxima do sinal para evitar problemas de *aliasing* [32], por isso, 1 Hz é suficiente para registar a frequência respiratória de forma fiável. A sua monitorização pode ser útil para

acompanhar condições como a apneia do sono [34] e ajustar os planos de tratamento, otimizando os resultados da reabilitação.

Relativamente aos sinais cinemáticos, os acelerómetros triaxiais, com frequências até 100 Hz, medem movimentos nas direções vertical, médio-lateral e ântero-posterior. Colocados na anca, tronco, coxa, região lombar ou pulso [34], permitem detetar padrões de movimento, avaliar o controlo motor, analisar a marcha e estimar parâmetros como o número de passos e a cadência. Em reabilitação, são úteis para avaliar a mobilidade, detetar instabilidades e prevenir quedas, especialmente em pacientes com patologias neurológicas, medindo o comprimento da passada e a variabilidade da aceleração [35].

ESTADO DA ARTE

A telereabilitação tem-se destacado como uma solução inovadora para garantir a continuidade dos cuidados clínicos à distância, sobretudo desde a pandemia de COVID-19. Ao ultrapassar barreiras físicas e logísticas da reabilitação presencial, têm sido exploradas tecnologias como videoconferência, telemonitorização e realidade virtual [2], [19].

A videoconferência é uma das abordagens mais comuns, com benefícios comprovados na autonomia, equilíbrio e qualidade de vida em pacientes pós-AVC ou após cirurgias ortopédicas, cardíacas e oncológicas [2]. Contudo, depende de avaliações exclusivamente subjetivas, pela ausência de métricas quantitativas que garantam uma monitorização fiável.

Para colmatar esta limitação, surgiram modelos híbridos como o A3E (*Accessibility, Adaptability, Accountability, Engagement*), já implementado em sistemas hospitalares. O modelo combina videoconferência com *kits* de baixo custo e sistemas de jogos terapêuticos, como o *Mind-Motion GO*, que personalizam exercícios e monitorizam o progresso do paciente através de câmaras e sensores de movimento [3]. Apesar do potencial, apresenta limitações: os *kits* não permitem monitorização contínua e remota, e mesmo com o recurso a jogos terapêuticos, a avaliação em contexto real de vida diária é restrita. Além disso, pacientes com défices sensoriais, baixa literacia digital ou sem apoio familiar enfrentam maiores barreiras na utilização consistente da tecnologia [3].

Também a realidade virtual e a realidade aumentada mostram potencial na recuperação motora. A realidade virtual, por exemplo, cria ambientes imersivos e interativos para a realização de exercícios, recorrendo a ferramentas como *Jintronix exergames* ou consola *Wii*. A realidade aumentada, por sua vez, integra elementos virtuais no ambiente real, permitindo experiências híbridas. Exemplos incluem o uso de câmaras *Microsoft Kinect V2 RGB D* e luvas com sensores que captam movimentos do paciente e fornecem *feedback* detalhado [19]. Além disso,

a realidade virtual tem sido aplicada ao treino de observação de ação, um método em que os pacientes assistem a vídeos de exercícios e replicam-nos, estimulando a recuperação motora de membros superiores [36]. Apesar dos resultados encorajadores, estas abordagens enfrentam barreiras importantes: complexidade tecnológica, necessidade de uma conexão à internet estável, falta de personalização e de integração dos exercícios na rotina diária – fatores que comprometem a adesão sobretudo em pacientes pós-AVC [19].

Neste âmbito, os dispositivos *wearable* destacam-se como solução promissora para recolher parâmetros fisiológicos em tempo real [21], oferecendo métricas objetivas da evolução clínica e facilitando o acompanhamento remoto [37]. A literatura confirma ainda que plataformas digitais em telereabilitação, especialmente no AVC, melhoram a função motora e a qualidade de vida, com taxas de adesão superiores a 75%, mas a integração de métricas objetivas permanece limitada [38].

Face a esta lacuna, o presente trabalho propõe desenvolver uma plataforma que integra dados fisiológicos e cinemáticos recolhidos por um dispositivo *wearable*, assegurando monitorização contínua, personalizada e quantitativa, aplicável desde a prática clínica até à reabilitação remota. Para tal, é necessário analisar os dispositivos disponíveis no mercado (Tabela 3.1).

Entre os dispositivos analisados, destaca-se a *t-shirt Hexoskin*, que, ao contrário de soluções limitadas ao *feedback* em uso ativo, oferece monitorização contínua dos sinais vitais, permitindo uma análise mais aprofundada do estado físico e da saúde do utilizador. Esta característica, aliada ao conforto e à discrição, torna-a útil no uso diário e durante atividade física.

Comparativamente com outros dispositivos centrados na marcha e no equilíbrio, como o *BalancePro*, *WalkWithPath*, *MEDRhythms* ou *FeetMe*, a *Hexoskin* distingue-se pela sua visão integrada do estado fisiológico, ao medir simultaneamente ECG, frequência cardíaca, variabilidade da frequência cardíaca, frequência respiratória e dados cinemáticos. Embora dispositivos como o *Oura Ring*, *Fitbit Charge HR* e *BioStamp* também recolham parte destes dados, cada um apresenta limitações que os tornam menos adequados em contextos de reabilitação. O *Fitbit Charge HR* pode apresentar imprecisões na contagem de passos, uma vez que, por ser usado no pulso, regista também movimentos do braço não relacionados com a locomoção. Além disso, a sua configuração revelou-se mais demorada do que a da *Hexoskin* [39]. O *BioStamp*, apesar de avançado, funciona como adesivo na pele, o que pode ser desconfortável para uso prolongado [40]. Já o *Oura Ring* é menos confortável e menos adequado a atividades que exijam ampla mobilidade manual.

A *Hexoskin* revela-se, assim, como uma opção muito interessante para utilização em contexto de reabilitação, ao combinar monitorização contínua de múltiplos parâmetros fisiológicos e cinemáticos, conforto de utilização e acessibilidade relativa.

Tabela 3.1: Dispositivos *wearable* do mercado [24], [37], [39], [41], [42], [43], [44], [45].

<i>Dispositivos wearable</i>	<i>Breve descrição</i>	<i>Tipo de feedback</i>	<i>O que mede</i>	<i>Interface</i>	<i>Preço</i>
<i>BalancePro</i>	Palmilhas com bordas elevadas que fornecem <i>feedback</i> para melhorar o equilíbrio e a propriocepção	Tátil	Pressão e movimento	Nenhuma	ND
<i>WalkWithPath (Path Finder Laser Shoes)</i>	Sapatos com <i>lasers</i> ativados bilateralmente pelo peso do corpo no pé. Emissão de uma linha de luz no lado oposto onde o utilizador deve pisar	Visual	Movimento e postura	Aplicação (telemóvel)	1.200 €
<i>MEDRhythms</i>	2 sensores ligados a cada sapato que fornecem <i>feedback</i> auditivo rítmico com base nos parâmetros da marcha	Auditivo	Padrões de marcha	Aplicação (telemóvel)	ND
<i>FeetMe</i>	Palmilhas com sensores que recolhem dados da marcha e do equilíbrio e fornecem estimulação elétrica no pé ou tornozelo para corrigir o movimento	Auditivo e tátil	Padrões de marcha e equilíbrio	Aplicação (telemóvel)	ND
<i>Oura ring</i>	Anel com sensores incorporados para monitorização	Visual	Sono, FC, VFC, temperatura, respiração e movimento	Aplicação (telemóvel)	330 €
<i>Fitbit Charge HR</i>	Pulseira com um sensor ótico para monitorização	Visual e tátil (vibração)	FC e contagem de passos	Aplicação (telemóvel e <i>web</i>)	ND
<i>BioStamp</i>	Adesivo para monitorização contínua	Visual	ECG, EMG e movimento	Aplicação (telemóvel e <i>web</i>)	ND
<i>Hexoskin</i>	<i>t-shirt</i> equipada com sensores de movimento, respiratórios e cardíacos para monitorização contínua de parâmetros fisiológicos e cinemáticos	Visual	ECG, FC, VFC, respiração, FR e movimento	Aplicação (telemóvel e <i>web</i>)	A partir de 740 €

FC—frequência cardíaca; VFC—variabilidade da frequência cardíaca; EMG—eletromiografia; FR—frequência respiratória; ND—não disponível.

Além dos dispositivos *wearable*, diversas plataformas digitais têm sido exploradas para apoiar a telereabilitação, como o *ActiveHeart*, destinado a doentes cardíacos, que combina exercícios, informação educativa e comunicação com familiares, integrando dados de dispositivos como *FitBit*, balança e esfigmomanómetro; o *e-Exercise*, focado em pacientes com osteoartrite, que oferece programas de exercícios e módulos educativos, embora dependa de sessões presenciais complementares; e o *HeartPortal*, para insuficiência cardíaca, que permite monitorização de sinais vitais, comunicação com a equipa de saúde e avaliação de resultados reportados pelos pacientes, mas requer múltiplos dispositivos adicionais e não integra métricas cinemáticas de referência [46].

Estas plataformas demonstram que, embora seja possível suportar programas de reabilitação de forma digital, surgem limitações na integração contínua de dados objetivos, na personalização adaptativa dos planos de tratamento e na combinação com perceções subjetivas dos pacientes.

É neste âmbito que a *TeleRehaSync* se distingue como plataforma de telereabilitação. A plataforma integra os dados da *Hexoskin*, permitindo monitorização detalhada do paciente em qualquer contexto. Em ambientes hospitalares, a *TeleRehaSync* consegue ainda incorporar métricas cinemáticas de referência de sistemas optoeletrónicos, como o *Qualisys*, acrescentando valor à avaliação clínica. Para além disso, disponibiliza *feedback* qualitativo do paciente sobre fadiga, dor e intensidade sentida, oferecendo uma visão abrangente, personalizada e fiável do processo de reabilitação, e fornecendo aos profissionais de saúde ferramentas para ajustar os planos terapêuticos de forma dinâmica e baseada em evidência.

DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA *TELEREHASYNC*

Este capítulo descreve os pré-requisitos, a linguagem de desenvolvimento, a estrutura e as principais funcionalidades da plataforma *TeleRehaSync*, concebida para apoiar a telereabilitação, monitorizando objetivamente a execução de exercícios terapêuticos à distância. O logótipo encontra-se ilustrado na Figura 4.1.

O nome resulta da combinação de três conceitos: “*Tele*” (intervenção remota), “*Reha*” (reabilitação) e “*Sync*” (sincronização de dados), refletindo o objetivo central da plataforma — recolher e analisar indicadores quantitativos sobre o desempenho dos pacientes durante processos de reabilitação.



Figura 4.1: Logótipo da plataforma *TeleRehaSync*.

O principal foco da plataforma é permitir aos diferentes profissionais que acompanham o paciente no processo de reabilitação monitorizarem remotamente a evolução clínica, com base em métricas de esforço físico e qualidade de movimento. Para os pacientes, oferece uma interface intuitiva, com orientações visuais claras que facilitam a realização autónoma e segura dos exercícios. Além da utilização remota, pode também apoiar sessões presenciais, funcionando como complemento à avaliação clínica.

Embora desenvolvida com base nas necessidades do Centro de Medicina de Reabilitação de Alcoitão (CMRA), a *TeleRehaSync* é flexível e adaptável a diferentes contextos clínicos, com

potencial de replicação tanto em ambiente hospitalar como domiciliário. O público-alvo inclui fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais e outros profissionais de reabilitação, bem como os pacientes, fornecendo ferramentas de prescrição, monitorização e avaliação para uma experiência terapêutica mais personalizada e eficaz.

4.1 Pré-requisitos

O levantamento de requisitos foi realizado com a fisiatra Isabel Amorim e a engenheira Mariana Matos do CMRA, identificando limitações nos processos atuais de reabilitação à distância e definindo prioridades como a integração de dados fisiológicos e biomecânicos fiáveis, com visualização clara da evolução do paciente. Adicionalmente, foram analisados os exercícios mais comuns na reabilitação músculo-esquelética, destacando as métricas como a amplitude de movimento, a estabilidade postural e os indicadores de esforço físico, compatíveis com os dados *t-shirt Hexoskin* e do sistema *Qualisys*. Com base nas necessidades clínicas e nas capacidades técnicas dos sistemas a integrar, foram definidos os seguintes pré-requisitos:

- Criar perfis distintos de utilizador (administrador, profissionais de saúde de diferentes departamentos e paciente) com permissões específicas;
- Garantir uma interface intuitiva, com acesso rápido ao histórico clínico;
- Possibilitar a criação de planos de tratamento personalizados, com exercícios ajustados ao paciente e vídeos demonstrativos;
- Integrar e sincronizar dados fisiológicos e cinemáticos (ECG, frequência cardíaca, frequência respiratória, número de passos, cadência e ângulos articulares);
- Proteger a segurança e confidencialidade da informação recolhida;
- Permitir o funcionamento remoto, minimizando as deslocações ao centro clínico;
- Disponibilizar relatórios detalhados de desempenho e progresso;
- Incluir *feedback* visual e apresentação de dados qualitativos e quantitativos;
- Possibilitar a correção ou anotação de erros durante os exercícios.

O cumprimento destes pré-requisitos assegura que a plataforma apoie eficazmente a reabilitação remota, promovendo um acompanhamento de qualidade e uma maior autonomia para os pacientes.

4.2 Arquitetura

A plataforma foi desenvolvida com a linguagem *Python* no *Visual Studio Code*, utilizando o *framework Dash* da *Plotly* para a construção da interface *web* interativa. O *Dash* permite criar aplicações analíticas e *dashboards* interativos, sem necessidade de conhecimentos avançados em *HTML*, *CSS* ou *JavaScript*, sendo adequado para projetos que requerem interpretação e exploração de dados, tendo sido desenvolvido especificamente para cientistas de dados [47].

A estrutura do projeto está organizada da seguinte forma:

- *app.py*: ficheiro principal de configuração e execução da plataforma;
- *utils/*: pasta com os ficheiros dos *layouts* das páginas da plataforma (como página inicial, *dashboards* e visualização de dados);
- *forms/*: pasta que agrupa os formulários da plataforma, como criação de contas, edição de perfis e criação de planos de tratamento;
- *assets/*: pasta dedicada aos recursos estáticos, incluindo imagens, vídeos demonstrativos, vídeos de execução dos exercícios e fotografias de perfil;
- *database/*: pasta com a base de dados;
- *Data/*: pasta com os dados recolhidos dos participantes do estudo, nomeadamente os ficheiros exportados da *t-shirt Hexoskin* e do *Qualisys*.

Esta organização separa claramente os conteúdos de visualização, os componentes interativos e os dados, o que facilita a escalabilidade e a adição de novas funcionalidades.

Para possibilitar o acesso remoto da plataforma, o código foi armazenado no *GitHub*, e posteriormente disponibilizado através do *Render*, um servidor online. Assim, a plataforma pode ser facilmente atualizada com novas versões.

4.2.1 Base de dados

A plataforma utiliza uma base de dados relacional *SQLite*, escolhida pela simplicidade, leveza e por não exigir servidores adicionais [48]. A sua gestão foi feita através da ferramenta *DB Browser (SQLite)*, o que facilitou a criação, visualização e edição gráfica de tabelas e registos.

A estrutura inclui os seguintes grupos de tabelas:

- Utilizadores e pacientes: armazenam credenciais, perfis (administrador, profissional de saúde e paciente) e dados de identificação. A tabela “pacientes” inclui também informações clínicas. As versões arquivadas (“utilizadores_arquivados” e

“pacientes_arquivados”) preservam as mesmas informações, acrescidas da data e do responsável pelo arquivo;

- Departamentos e ligações clínicas: a tabela “departamentos” lista os departamentos e as tabelas de ligação (“pacientes_departamentos” e “pacientes_profissionais_saude”) associam corretamente os pacientes, profissionais e os departamentos.
- Tratamentos, exercícios e sessões: a organização da componente terapêutica é realizada através de três tabelas – “planos_tratamento”, “exercícios” e “sessões” –, que contêm informações para o planeamento, descrição e monitorização dos tratamentos, incluindo dados como nome, tipo e duração dos planos, detalhes descritivos dos exercícios associados, bem como o registo das datas e locais onde as sessões devem ocorrer.
- *Feedback* e avaliação: a tabela “feedback_exercícios” armazena as respostas a questionários pós-exercício, a data do preenchimento e as observações dos profissionais.

Esta organização permitiu coerência, integridade e escalabilidade, possibilitando futuramente evoluir para bases de dados mais robustas, como *PostgreSQL* ou *MySQL*. As relações entre as tabelas encontram-se representadas na Figura A.1 do Apêndice A.

4.3 Descrição da plataforma *TeleRehaSync*

Esta subsecção descreve a estrutura e funcionamento da plataforma. O fluxo de utilização encontra-se ilustrado num fluxograma no Apêndice A, na subsecção A.2, e algumas interfaces importantes encontram-se na subsecção A.3.

4.3.1 Login

O registo de novos utilizadores é feito exclusivamente por um administrador. Após o registo, o utilizador faz *login* seleccionando um de três perfis— administrador, profissional de saúde ou paciente — como mostra a Figura 4.2, sendo direccionado para páginas iniciais distintas.

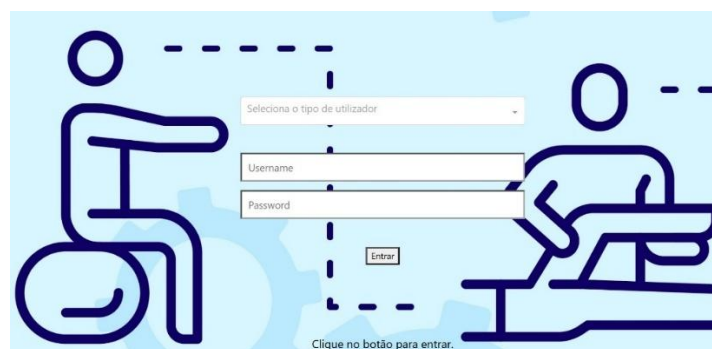


Figura 4.2: Página de *login*.

4.3.2 Página inicial

A página "Início" apresenta informações adaptadas ao perfil. Para administradores, mostra o número total de administradores, profissionais de saúde e pacientes ativos, bem como os registros arquivados (Figura 4.3). Os profissionais de saúde visualizam o número de pacientes sob a sua responsabilidade, as sessões hospitalares a realizar, sessões do dia, sessões em atraso (hospitalares ou em casa). Já os pacientes têm acesso aos seus planos de tratamento e às sessões do dia, futuras, concluídas e em atraso.



Figura 4.3: Página inicial do administrador.

4.3.3 Menus principais

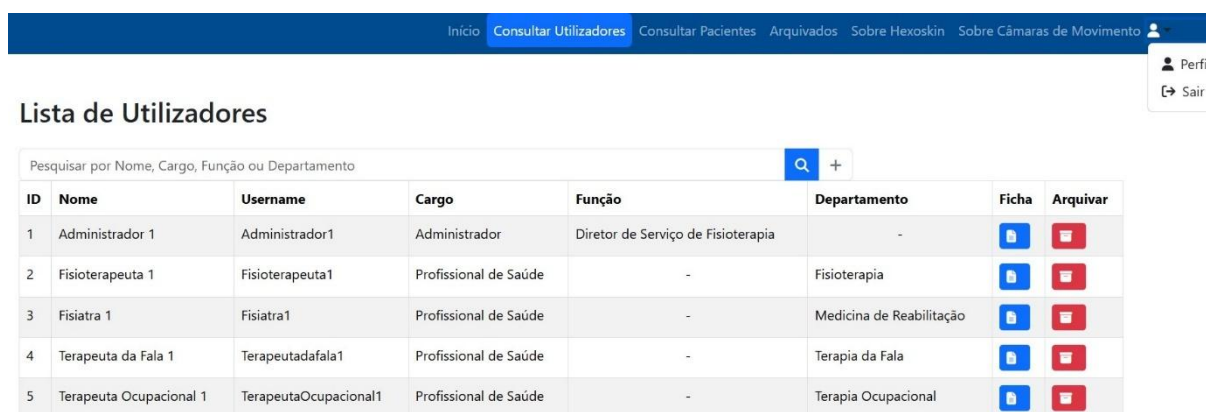
Na barra superior da página inicial encontram-se menus também adaptados ao perfil. Para o administrador, os menus incluem "Consultar Utilizadores", "Consultar Pacientes" e

"Arquivados". O profissional de saúde pode aceder a "Consultar os seus Pacientes", limitado aos pacientes a seu cargo. O paciente tem acesso ao menu "Os seus Planos" (Figura A.11 do Apêndice A). Para todos os perfis estão disponíveis os menus "Sobre Hexoskin" e "Sobre as Câmaras de Movimento", que explicam os dispositivos utilizados para a recolha de dados. Além disso, no canto superior direito, é possível consultar os dados pessoais através do menu "Perfil" ou terminar a sessão clicando em "Sair".

4.3.4 Funcionalidades por tipo de Utilizador

O acesso a menus e opções é adaptado às funções e permissões de cada perfil de utilizador.

O administrador dispõe de ferramentas de gestão global. Este pode consultar todos os utilizadores registados (administradores e profissionais de saúde), pesquisar por diferentes critérios, adicionar novos registos através do botão "+" que conduz ao formulário para registar novos utilizadores. Cada utilizador possui uma ficha detalhada e um botão de arquivar, acompanhado de uma mensagem de confirmação antes da execução (Figura 4.4). As mesmas funcionalidades estão disponíveis para a gestão de pacientes. Existe ainda uma secção dedicada aos registos arquivados (administradores, profissionais de saúde e pacientes), permitindo a sua recuperação sempre que pertinente.



ID	Nome	Username	Cargo	Função	Departamento	Ficha	Arquivar
1	Administrador 1	Administrador1	Administrador	Diretor de Serviço de Fisioterapia	-		
2	Fisioterapeuta 1	Fisioterapeuta1	Profissional de Saúde	-	Fisioterapia		
3	Fisiatra 1	Fisiatra1	Profissional de Saúde	-	Medicina de Reabilitação		
4	Terapeuta da Fala 1	Terapeutadafala1	Profissional de Saúde	-	Terapia da Fala		
5	Terapeuta Ocupacional 1	TerapeutaOcupacional1	Profissional de Saúde	-	Terapia Ocupacional		

Figura 4.4: Página "Consultar Utilizadores" do administrador.

No caso do profissional de saúde o foco está no acompanhamento clínico. Este pode consultar os pacientes que lhe estão atribuídos (Figura 4.5), acedendo às fichas detalhadas para monitorização, incluindo também os planos prescritos, contudo não possui permissões para adicionar ou arquivar registos.

Início Consultar os seus Pacientes Sobre Hexoskin Sobre Câmaras de Movimento				
Os seus Pacientes				
Pesquisar por Nome, Nº processo ou Nº de utente				
ID	Nome	Nº Processo	Nº Utente	Ficha
1	Participante01	11111	000000001	
2	Participante02	22222	000000002	
3	Participante03	33333	000000003	
7	Participante07	77777	000000007	
8	Participante08	88888	000000008	
10	Participante10	10101	000000010	

Figura 4.5: Página “Consultar os seus Pacientes” do profissional de saúde.

Por fim, o paciente tem acesso na sua interface ao menu “Os seus Planos”, onde os planos de tratamento são apresentados em cartões. Cada cartão permite aceder a detalhes como as sessões previstas, datas, estados de execução e outras informações relevantes para o cumprimento do plano.

4.3.5 Adicionar utilizador e paciente

Para um administrador adicionar um novo utilizador, seja outro administrador ou profissional de saúde, é necessário preencher campos como credenciais, nome completo, género, email, telefone, cargo, departamento ou função, como ilustrado na Figura 4.6. Como o formulário é único para ambos os perfis, determinados campos só são relevantes consoante o tipo de utilizador: no caso dos profissionais de saúde, deve ser indicado o departamento a que pertencem, enquanto a função não é considerada, devendo ser preenchida com “nenhuma”; já no caso dos administradores, é a função que deve ser especificada, sendo o campo “departamento” assinalado como “nenhum”. Todos estes campos são obrigatórios, sendo apresentada uma mensagem de erro sempre que algum fique por preencher. Uma vez concluído corretamente o preenchimento, o sistema confirma o registo com uma mensagem de sucesso.

O processo para registar um novo paciente segue uma lógica semelhante, mas com campos adaptados às necessidades clínicas e administrativas. Além das credenciais e nome completo, solicitam-se o número de processo, número de utente, data de nascimento, género, altura, peso, mão dominante, diagnóstico, departamentos e profissionais de saúde responsáveis. Dos campos mencionados, apenas os essenciais para identificação e de ligação clínica são obrigatórios — nome de utilizador, palavra-passe, nome completo, número de processo, número de utente, departamentos e profissionais responsáveis. Os restantes podem ser preenchidos

mais tarde pelo profissional responsável ou pelo próprio paciente. Importa destacar que a lista de profissionais disponível para associação é filtrada automaticamente pelos departamentos previamente selecionados, garantindo coerência e organização da informação. Este comportamento do formulário é ilustrado na Figura 4.7.

Adicionar Novo Utilizador

Username: ex: dr.silva Password: *****

Nome Completo: ex: Maria Silva

Género: Selecionar... Email: ex: nome@hospital.pt Telefone: ex: 912345678

Departamento: Selecionar... Cargo: Selecionar...

Função: ex: Coordenador de Terapia

Adicionar Utilizador

⚠ Todos os campos são obrigatórios.

Figura 4.6: Formulário de adicionar um novo utilizador com mensagem de erro.

Departamentos

Fisioterapia x Medicina de Reabilitação x

Profissionais de Saúde Responsáveis

Primeiro seleccione departamentos

- Fisioterapeuta 1 (Fisioterapia)
- Fisiatra 1 (Medicina de Reabilitação)

Figura 4.7: Dependência dos campos de departamentos e profissionais de saúde responsáveis do formulário de adicionar novo paciente.

4.3.6 Fichas e Perfil de utilizador e paciente

As fichas individuais dos utilizadores são acessíveis apenas aos administradores, com exceção das fichas dos pacientes, que também podem ser consultadas pelos profissionais de saúde responsáveis. Estas fichas apresentam os dados pessoais e, no caso dos pacientes, incluem igualmente a informação clínica e relacional.

A ficha de um administrador apresenta nome, cargo, função, género, telefone e email. No caso dos profissionais de saúde, a ficha inclui nome, cargo, departamento, género, telefone, email e a lista de pacientes a seu cargo, com possibilidade de o administrador aceder diretamente às fichas desses pacientes através de *links* nos respetivos nomes. Já a ficha de um

paciente contém dados como nome, número de processo, número de utente, data de nascimento, idade (calculada automaticamente), género, altura, peso, mão dominante, diagnóstico, departamentos a que está associado e os profissionais de saúde responsáveis. Quando consultada por um administrador, os nomes dos profissionais de saúde responsáveis são clicáveis, permitindo aceder diretamente às suas fichas; para o profissional de saúde, estes deixam de ser interativos, mas surge no final da página o botão "Ver Planos" para aceder diretamente aos planos de tratamento daquele paciente (Figura 4.8). Apenas os profissionais de saúde podem editar os dados clínicos do paciente através do botão amarelo disponível na página.

← Ficha do Paciente: Participante01

Informações Pessoais

Nome: Participante01
Nº de Processo: 11111
Nº de utente 000000001
Data de nascimento: 03/04/2002
Idade: 23 anos
Género: Feminino
Altura: 150.0 cm
Peso: 54.0 kg
Mão dominante: Direita
Diagnóstico: Saudável
Departamentos Associados: Fisioterapia
Profissionais de Saúde Responsáveis:
• Fisioterapeuta 1

Ver Planos

Figura 4.8: Ficha do paciente da interface do profissional de saúde.

Para além das fichas, todos utilizadores dispõem de uma área de perfil pessoal. Nos administradores e profissionais de saúde, esta apresenta nome, cargo, função, género, telefone, email e função ou departamento (consoante o perfil), podendo ser editados todos os campos exceto o cargo. Já o perfil dos pacientes, representado na Figura 4.9, exhibe, além dos dados pessoais e clínicos, os departamentos e profissionais responsáveis, permitindo-lhes editar informações como nome, data de nascimento, género, altura e peso no botão amarelo visível na página. Em todos os casos, existe a possibilidade de alterar a fotografia de perfil ao clicar no ícone da câmara.

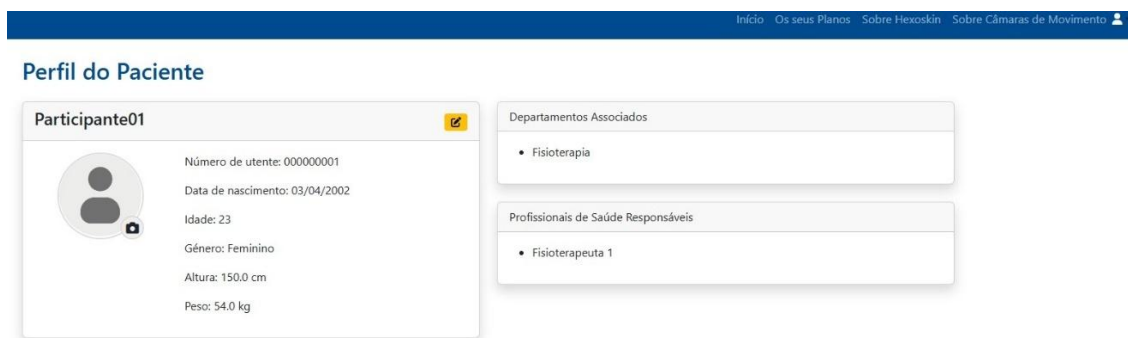


Figura 4.9: Perfil do paciente.

4.3.7 Planos de tratamento

Cada paciente pode ter um ou mais planos de tratamento atribuídos pelo profissional de saúde, sendo ambos capazes de consultar os detalhes. Os profissionais podem criar novos planos através de um formulário que inclui nome e tipo de tratamento (terapia ocupacional ou fisioterapia), datas de início e fim e dias da semana das sessões. Em seguida, são adicionados os exercícios, especificando nome, descrição, orientações, material necessário, número de séries e local de realização (casa ou hospital). Para exercícios domiciliários, as sessões são geradas automaticamente a partir das datas e dias de semana definidas. Para exercícios hospitalares, a data e hora da sessão são preenchidas manualmente. É possível incluir vídeos demonstrativos para auxiliar o paciente na execução dos exercícios. Caso algum campo obrigatório não seja preenchido, é apresentada uma mensagem de erro.

Os planos são apresentados em cartões com as informações essenciais, permitindo aceder à descrição completa e visualizar as sessões agendadas. A página de detalhes mostra os dados gerais do plano, como o nome do profissional de saúde que o criou, o tipo de tratamento, as datas e dias da semana, seguida da lista de exercícios e as suas especificações. Todos os exercícios são visíveis aos profissionais de saúde; enquanto os hospitalares são ocultos para os pacientes, por motivos de segurança.

Na secção “Sessões Agendadas”, uma tabela apresenta data, estado (realizada ou por realizar), local e ações disponíveis conforme o perfil e o estado da sessão. Para o criador do plano, o botão “Começar Sessão” permite conduzir uma sessão por realizar, enquanto nas sessões já concluídas surge o botão “Relatório”, que abre um registo pormenorizado do desempenho do paciente. Para outros profissionais, as sessões por realizar apresentam apenas o aviso a vermelho “Sessão ainda não realizada”, e nas já concluídas é igualmente disponibilizado o acesso ao relatório. Para os pacientes, as sessões domiciliárias incluem o botão “Começar Sessão”, enquanto as hospitalares mostram a mensagem “O profissional de saúde vai

conduzir esta sessão”. Após o paciente finalizar uma sessão, surge a mensagem de encorajamento “Parabéns por ter concluído a sessão!”. A interface do paciente, com os detalhes do plano, exercícios e sessões agendadas, incluindo a mensagem de conclusão da sessão, está ilustrada na Figura 4.10. Esta estrutura permite uma gestão clara dos planos e sessões, adaptando a informação e as ações possíveis ao tipo de utilizador da plataforma e garantindo segurança e acompanhamento adequado.

Plano: Equilíbrio

Detalhes do Plano do Paciente Participante03

Criador do plano: Fisioterapeuta 1 (Fisioterapia)

Tipo: Fisioterapia
 Início: 08/08/2025
 Fim: 21/08/2025
 Dias: Sexta

Exercícios

Exercício 1

Exercício 2

Exercício 3

Exercício 4

Sessões Agendadas

Data	Estado	Local	Ação
08/08/2025		Hospital às 15:00	Parabéns por ter concluído a sessão!
08/08/2025		Casa	Parabéns por ter concluído a sessão!
15/08/2025		Casa	<button>Começar Sessão</button>

Figura 4.10: Página dos detalhes do plano da interface do paciente.

4.3.8 Sessões de tratamento: *feedback* e avaliação clínica

Quando o paciente ou o profissional de saúde seleciona “Começar Sessão”, é apresentada a interface com todos os exercícios da sessão, incluindo nome, descrição, orientações sobre a execução, materiais, número de séries e, quando aplicável, vídeos demonstrativos (Figura 4.11).



Figura 4.11: Página apresentada ao paciente ou profissional de saúde ao selecionar “Começar Sessão”.

Abaixo de cada exercício, o botão “Terminar Exercício” abre um formulário de *feedback* obrigatório com classificação de dor, fadiga e dificuldade (0 a 10) e um campo de comentário como apresentado na Figura 4.12.

Apenas após preencher todos os campos o botão “Finalizar Feedback” fica ativo. O paciente pode também enviar vídeos da execução do exercício, em perspectiva frontal e/ou sagital, permitindo ao profissional de saúde avaliar a técnica e postura. Depois de submetido o *feedback* do exercício, o botão “Terminar Exercício” é substituído por “Exercício Realizado” e o botão “Terminar Sessão” só fica acessível quando todos os exercícios da sessão tiverem *feedback*, garantindo o registo completo da participação.

Feedback

Classifique a dor que sentiu numa escala de 0-10

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Classifique a intensidade da fadiga que está a sentir numa escala de 0 a 10

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Classifique o quão difícil foi fazer este exercício de 0 a 10

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Comentário sobre o exercício:

Escreva aqui...

Upload vídeo execução sagital (opcional):

📎 Video Sagital

Upload vídeo execução frontal (opcional):

📎 Video Frontal

Finalizar Feedback

Terminar Sessão

Figura 4.12: Formulário de *feedback* do exercício.

Após a conclusão da sessão, o profissional tem acesso a um relatório detalhado, apresentando o *feedback* qualitativo do paciente e o desempenho terapêutico. Cada exercício

realizado está numa tabela com nome, descrição, respostas ao *feedback* e um botão “Ver Dados”, que abre uma interface com métricas quantitativas de execução.

No final, a secção de observações clínicas, permite ao criador do plano adicionar comentários ou recomendações; outros profissionais apenas visualizam em modo de leitura, assegurando clareza de responsabilidades e integridade dos registos terapêuticos.

4.3.9 Dados eletrofisiológicos e cinemáticos

A análise quantitativa das sessões está disponível ao profissional de saúde através do botão “Ver Dados”, permitindo avaliar de forma objetiva a execução dos exercícios com base em dados fisiológicos (ECG, frequência cardíaca e respiratória) e cinemáticos (número de passos, cadência e ângulos articulares). Os dados fisiológicos, o número de passos e a cadência são recolhidos pela *t-shirt Hexoskin*, enquanto os ângulos articulares são obtidos através do sistema *Qualisys*. Para que estes dados quantitativos sejam corretamente integrados e visualizados na plataforma, devem estar organizados por participante, sessão e exercício.

No topo da página existem três cartões coloridos que apresentam a frequência cardíaca, frequência respiratória e número de passos, mostrando os valores de mínimo, máximo e médio ao longo da sessão, conforme ilustrado na Figura 4.13.

A interface divide-se em duas secções principais: a primeira exhibe os dados da *t-shirt Hexoskin*, em gráficos de frequência cardíaca, frequência respiratória, ECG e cadência como ilustrado na Figura 4.13; a segunda apresenta os dados do *Visual3D*, com gráficos cinemáticos dos movimentos articulares, incluindo curvas de flexão/extensão, abdução/adução e rotação medial/lateral para cada articulação analisada, como mostra a Figura 4.14.



Figura 4.13: Exemplo de ECG da página de relatório dos dados (secção da *Hexoskin*) da interface do profissional de saúde.

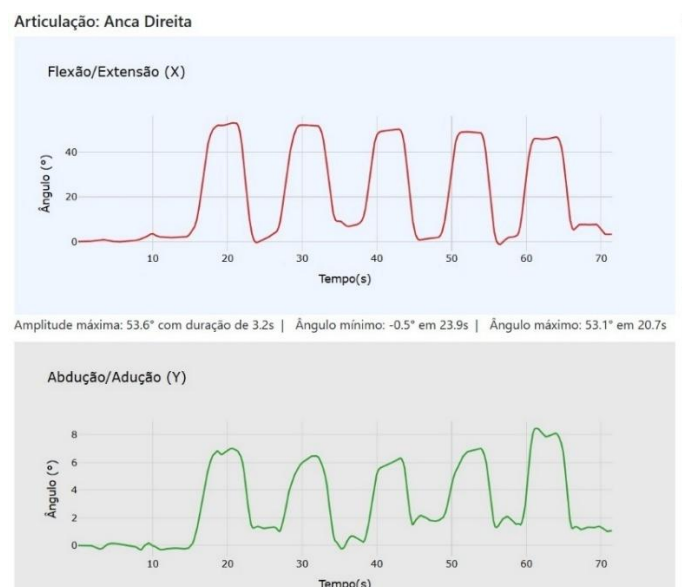


Figura 4.14: Página de relatório dos dados (secção do *Visual3D*) da interface do profissional de saúde.

Abaixo de cada gráfico cinemático são indicadas métricas associadas ao ciclo de movimento, como a amplitude máxima, duração, ângulo mínimo e máximo e instantes temporais correspondentes. Se não houver amostras suficientes para um ciclo completo, surge a mensagem “Não foram detetados ciclos.”

Alguns gráficos aparecem a cinzento, indicando que os parâmetros estão disponíveis, mas não são relevantes para o exercício em análise. A secção de gráficos é navegável verticalmente e, à direita, são exibidos vídeos da execução nas perspetivas frontal e sagital (ver, por exemplo, Figura 4.3), permitindo analisar simultaneamente os dados quantitativos e a performance visual. Esta disposição favorece uma avaliação mais contextualizada, apoiando decisões clínicas baseadas em evidência.

PROCESSO EXPERIMENTAL

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para a recolha, tratamento e análise dos dados, com o objetivo de testar a plataforma *TeleRehaSync* na sua totalidade, identificar eventuais dificuldades tecnológicas e avaliar a necessidade de adaptações. Apresenta-se a caracterização da amostra, o protocolo experimental para a recolha dos dados, o processamento dos sinais obtidos com a *t-shirt Hexoskin* e o sistema *Qualisys*, bem como considerações relevantes sobre o procedimento experimental.

5.1 Participantes

A amostra inclui 10 participantes do sexo feminino, com idades entre 19 e 23 anos; nove são destros e uma é canhota. Os critérios de inclusão consideram idade ≥ 18 anos e ausência de patologias que comprometem os movimentos avaliados.

A amostra foi recrutada por conveniência, tendo todos os elementos assinado o termo de consentimento informado (Apêndice B). Foram recolhidos dados antropométricos, nomeadamente altura e peso, com o objetivo de contextualizar as análises realizadas. As características detalhadas da amostra encontram-se na Tabela C.1 (Apêndice C).

5.2 Protocolo experimental

A recolha foi realizada no *Laboratory for Instrumentation, Biomedical Engineering and Radiation Physics (LIBPhys)* na NOVA FCT. As participantes vestiram roupa desportiva ajustada para não interferir com os sensores, touca elástica para colocação das marcas refletoras cranianas e permaneceram descalças.

Foram aplicadas medidas para reduzir artefactos durante a aquisição: gel condutor nos sensores da *t-shirt Hexoskin*, ajuste das bandas elásticas e utilização de fita cola dupla face para minimizar o ruído durante a execução do movimento.

Para a captura do movimento com o sistema *Qualisys* (versão 2024.2), foram colocadas 52 marcas refletoras, distribuídas pela cabeça, tronco, membros superiores e inferiores, segundo a configuração do *Animation Optional Marker Set* do *Qualisys*. Foram utilizadas marcas refletoras de 8 mm e 14 mm (Figura 5.1), posicionadas em pontos anatômicos pré-definidos. As de menor dimensão foram aplicadas em áreas de fácil detecção pelas câmaras, de forma a minimizar o seu desaparecimento durante a aquisição e reduzir a complexidade do processamento. A configuração completa e a designação de cada marca refletora, encontra-se disponível na Figura C.1 do Apêndice C. A aquisição foi realizada com quatro câmaras infravermelhas *Miqus M3* (Figura 5.1), posicionadas estrategicamente para garantir a cobertura espacial completa e minimizar o risco de desaparecimento das marcas refletoras, como ilustrado na Figura C.2 do Apêndice C.



Figura 5.1: Marcas refletoras de 14 mm e 8 mm (à esquerda). Câmara *Miqus M3* do *Qualisys* (à direita). (Retirado de [49], [50], respetivamente).

A frequência de amostragem utilizada foi de 100 *frames* por segundo (100 Hz), adequada para a análise cinemática dos movimentos estudados, assegurando uma boa resolução temporal dos dados. Durante a aquisição, logótipos e reflexos externos foram cobertos com fita opaca para evitar interferências.

Antes da recolha, foi criada uma conta para cada participante na plataforma *Hexoskin Dashboard* com os dados pessoais como data de nascimento, peso e altura e foram explicados os exercícios que iriam ser realizados. Durante a recolha, foram gravados vídeos frontal e sagital para validação e segmentação do movimento.

Após a fase de treino e familiarização com o equipamento, iniciou-se cada atividade com a participante em posição estática, com os ombros em abdução entre aproximadamente 45° e 90° e cotovelos em extensão. Após 15 segundos, era dado um estímulo sonoro e visual: a vareta do *Qualisys*, com uma marca refletora, que tocava no acelerómetro incorporado no dispositivo de captura da *t-shirt*, servindo de referência para sincronização dos sinais fisiológicos e cinemáticos (Figura 5.2).

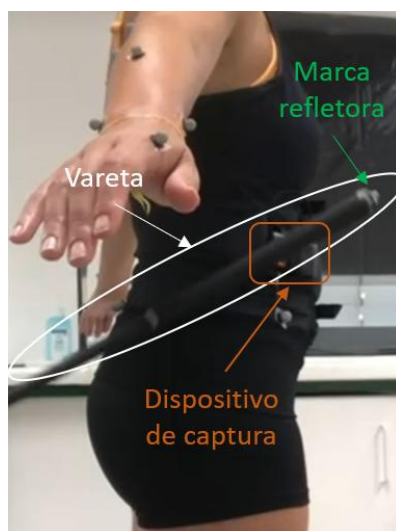


Figura 5.2: Esquema do estímulo utilizado para sincronização, destacando a vareta do *Qualisys*, a marca refletora e o dispositivo de captura da *t-shirt*.

Após este toque, as participantes permaneciam na mesma posição por mais 15 segundos até começarem a execução da atividade. Para não induzir a participante em erro, foi dado um comando verbal (“Comece”) no momento correto.

As atividades, ilustradas na Figura C.4 à Figura C.8 do Apêndice C, realizadas foram:

1. Estático: participante permanece na posição inicial (ombros em abdução 45–90° e cotovelos em extensão), imóvel durante 30 segundos.
2. Flexão controlada da articulação coxo-femoral e do joelho direito: realização da flexão até uma posição confortável, mantendo o tronco estável durante 5 segundos; retorno à posição inicial durante 5 segundos. Repetir 5 vezes.
3. Flexão controlada da articulação coxo-femoral e do joelho esquerdo: idêntica ao movimento anterior, mas com o membro inferior esquerdo.
4. Abdução do ombro direito com objeto: apreensão de um objeto posicionado sobre um suporte, seguida de abdução controlada do ombro direito até aproximadamente 90°, mantendo o cotovelo em extensão e o punho em posição neutra; retorno à posição inicial com reposicionamento do objeto e pausa de 5 segundos. Repetir 5 vezes.
5. Agachamento parcial: flexão simultânea das articulações coxo-femoral e dos joelhos até aproximadamente 45°, mantendo a posição durante 5 segundos. Em seguida, realizar extensão para regressar à posição inicial, permanecendo mais 5 segundos. Repetir o ciclo 5 vezes.

As atividades foram selecionadas pela sua relevância no treino motor e pela possibilidade de recolher métricas clinicamente significativas.

A permanência em ortostatismo (atividade 1), apesar de representar uma tarefa aparentemente simples, permite avaliar parâmetros posturais fundamentais, sobretudo na região lombo-pélvica, cuja alteração está associada a dor lombar e desequilíbrios no alinhamento sagital. Durante esta atividade, o corpo apresenta oscilações naturais, resultantes de ajustes nos tornozelos, anca e na parte lombar da coluna, que influenciam a estabilidade e podem comprometer medições pontuais [51]. Assim, esta tarefa fornece uma referência essencial para caracterizar o controle postural em repouso.

As flexões controladas da anca e do joelho (atividades 2 e 3) permitem avaliar cada membro inferior de forma independente. A execução lenta e controlada, com manutenção do tronco estável, possibilita analisar a mobilidade e o controle das articulações da anca e do joelho, bem como a coordenação entre estas articulações e possíveis diferenças de desempenho entre os membros direito e esquerdo.

A abdução do ombro com objeto (atividade 4) foi escolhida devido à sua forte relação com a função da articulação glenoumeral. Estudos clínicos, incluindo em pacientes submetidos a artroplastia reversa do ombro, demonstram que a amplitude máxima obtida neste movimento apresenta uma correlação significativa com o ângulo glenoumeral, constituindo um indicador fiável do seu desempenho funcional. De igual modo, a força desenvolvida durante a abdução está associada ao contributo desta articulação, reforçando o seu papel central no controle e na mobilidade do ombro [52]. Assim, a avaliação deste movimento fornece dados objetivos sobre a integridade glenoumeral, com relevância para a prática clínica e para a monitorização da função do ombro.

O agachamento bilateral (atividade 5) foi selecionado devido à sua relevância na função dos membros inferiores e na manutenção da postura. Este movimento fortalece os músculos que envolvem o joelho e a anca, contribuindo para a estabilidade articular, especialmente em contextos clínicos como osteoartrite ou síndrome da dor patelofemoral. Para além do fortalecimento muscular, o agachamento exige coordenação e controle postural, uma vez que implica estabilidade nos pés, joelhos e na parte lombar da coluna, bem como mobilidade na anca e tornozelos [53]. Assim, avaliar a execução deste movimento fornece informações sobre a capacidade funcional dos membros inferiores, a qualidade postural e o controle motor do indivíduo.

Para garantir a fiabilidade das medições, durante a realização das atividades foram tomadas medidas para minimizar interferências, incluindo a utilização de uma garrafa opaca na atividade 4, e foi assegurado que todos os movimentos fossem controlados e respeitassem os

tempos definidos, com apoio verbal sempre que necessário. Desta forma, estes cuidados metodológicos, aliados à relevância funcional dos exercícios, permitem avaliar de forma precisa a mobilidade, o controlo motor e a estabilidade postural, com aplicação direta em contextos de treino motor e reabilitação.

5.3 Sincronização e Processamento de dados

A interpretação rigorosa dos dados depende da sincronização e integração adequada dos sinais fisiológicos e cinemáticos recolhidos durante o protocolo experimental. Garantir que estes sinais estão corretamente alinhados no tempo é fundamental para permitir a extração de métricas fiáveis sobre a execução dos exercícios.

O processamento dos dados tem como principais objetivos assegurar a qualidade dos sinais, reduzir ruído e artefactos, e extrair métricas relevantes para a avaliação do desempenho motor e fisiológico dos participantes. Estas etapas transformam os sinais brutos em informação consistente e útil para análise e interpretação biomecânica.

5.3.1 Procedimentos de Sincronização

A sincronização dos dados foi realizada antes do processamento, garantindo que apenas os segmentos de interesse fossem analisados. Para tal, utilizou-se um estímulo comum visível nos sinais da *t-shirt Hexoskin* e nos vídeos captados pelo sistema *Qualisys*: o contacto da vareta com uma marca refletora no acelerómetro.

Nos dados da *t-shirt*, este momento corresponde ao pico observado nos gráficos de aceleração nas três componentes (x , y , z) disponíveis na plataforma *Hexoskin Dashboard* (Figura 5.3). Esse instante foi registado como o início da atividade.

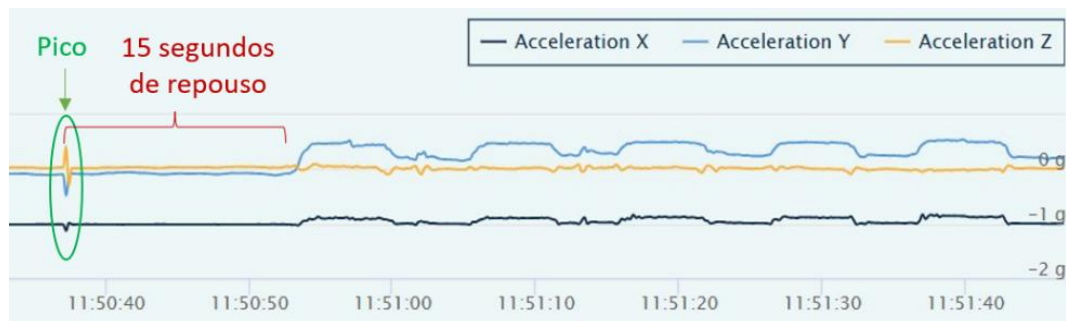


Figura 5.3: Exemplo de um gráfico de aceleração nas componentes x , y e z da *Hexoskin Dashboard*.

Nos vídeos do *Qualisys*, o aparecimento de uma marca extra permitiu identificar com precisão o início da atividade. A duração previamente definida para cada exercício,

juntamente com a observação dos movimentos nos vídeos gravados nas vistas frontal e sagital, permitiu determinar o instante em que o movimento era concluído.

Tanto os tempos iniciais como os finais foram registados. Isso permitiu a extração automática dos segmentos relevantes de sinal para cada participante e atividade, garantindo a correta correspondência temporal entre os dois sistemas.

5.3.2 Processamento de Dados - *t-shirt Hexoskin*

O processamento dos dados fisiológicos recolhidos pela *t-shirt Hexoskin* envolveu etapas sequenciais de segmentação temporal e filtragem dos sinais. Como os sinais apresentam taxas de amostragem diferentes, o corte temporal foi ajustado considerando os pontos mais próximos do tempo inicial e final. Nos sinais com taxa de 1 Hz, selecionou-se o valor imediatamente superior ao tempo inicial e o valor imediatamente inferior ao tempo final, garantindo que o sinal obtido não fosse maior do que o sinal real relevante.

Os sinais obtidos diretamente pelo sistema *Hexoskin* incluem o ECG, a frequência cardíaca, a frequência respiratória, a cadência e o número de passos.

A frequência cardíaca é obtida a partir dos intervalos RR detetados no ECG, considerando a média dos últimos 16 batimentos válidos, atualizada a 1 Hz, com valores entre 30 e 220 batimentos por minuto e manutenção do último valor válido em caso de deteção não fiável. A frequência respiratória é calculada a partir dos ciclos de inspiração e expiração, correspondendo à média dos últimos 7 ciclos, atualizada a 1 Hz e limitada ao intervalo de 2 a 60 respirações por minuto [54]. A cadência é calculada a partir do sinal de aceleração, correspondendo à média dos últimos sete ciclos de passada (equivalentes a oito passos). Os valores obtidos são limitados ao intervalo entre 30 e 240 passos por minuto. O número de passos também é extraído do sinal de aceleração, através da identificação do canal alinhado com a gravidade. A deteção de um passo ocorre sempre que este canal ultrapassa o limiar de 35 unidades [54].

Para reduzir o ruído e suavizar os sinais, foram aplicados filtros adicionais através de código *Python*. Ao sinal de ECG foi aplicado um filtro *Butterworth* passa-banda (0,5–40 Hz, ordem 6), seguido de um filtro *Savitzky-Golay* (janela de 19 amostras, ordem 2). A frequência cardíaca e a frequência respiratória foram posteriormente processadas com um filtro de média móvel com janela de 30 amostras, com o objetivo de reduzir variações instantâneas antes da integração na plataforma desenvolvida.

Após o corte temporal do sinal, foi implementado em *Python* um procedimento adicional para corrigir a contagem de passos. Como a *Hexoskin* acumula os passos ao longo de todo o

registro, o código desenvolvido redefine a contagem para zero no início de cada atividade, assegurando que apenas os passos realizados dentro do período relevante sejam considerados.

O ajuste e a agregação de todos os sinais processados foram realizados num programa *Python* independente, que gera um *Excel*. Este *Excel* facilita a detecção de eventuais erros no corte dos sinais e a sua correção antes da integração na plataforma. Caso o *Excel* não esteja disponível, a própria plataforma dispõe de um módulo em *Python* que processa diretamente cada sinal obtido pela *t-shirt*, embora não efetue a segmentação dos intervalos de interesse.

5.3.3 Processamento de Dados - sistema *Qualisys* e *Visual3D*

Após a definição dos intervalos de interesse, aplicou-se o modelo *Animation Optional Marker Set*, utilizado no protocolo, para associar as marcas refletoras captadas às *labels* correspondentes. Esse processo foi trabalhoso e demorado, principalmente quando as marcas não eram captadas durante um período de tempo ou o movimento era mais complexo. No caso de oclusões, foi necessário preencher as lacunas temporais através de métodos disponíveis no sistema *Qualisys*.

Finalizada a atribuição das *labels*, os ficheiros foram exportados para o *software Visual3D*, uma ferramenta de referência na área da biomecânica para a análise de dados de movimento tridimensional. Este programa é amplamente utilizado em investigação, reabilitação, ortopedia e desporto de alto desempenho e permite construir modelos biomecânicos personalizados, calcular parâmetros cinemáticos e cinéticos e gerar relatórios detalhados [55].

No presente trabalho foi criado o modelo biomecânico com base num ficheiro estático (participante imóvel). Este modelo encontra-se disponível na Figura C.3 do Apêndice C. Os segmentos corporais foram definidos com base nas posições das marcas refletoras - duas marcas nos extremos da articulação (radial e medial) ou, alternativamente, uma marca no extremo e outra para definir o raio articular. A Tabela C.2 do Apêndice C, apresenta os segmentos corporais definidos no modelo desenvolvido, bem como as marcas utilizadas em cada caso.

Para manter a coerência na análise dos ângulos articulares, o referencial do laboratório foi alinhado com o referencial de cada segmento corporal. Neste sistema de coordenadas, o x corresponde à direção médio-lateral, o y à ântero-posterior e o z à vertical. A análise seguiu a sequência de *cardan* x-y-z, representando respetivamente flexão/extensão, abdução/adução e rotação medial/lateral. Os sinais foram ajustados para que o aumento do ângulo correspondesse sempre à flexão, à abdução e à rotação medial.

O modelo foi depois aplicado ao ficheiro estático de cada participante e, posteriormente, o estático foi aplicado aos respetivos ficheiros dinâmicos, possibilitando o cálculo dos ângulos articulares utilizados na avaliação da amplitude de movimento durante as tarefas.

Finalmente, os sinais cinemáticos em cada eixo, extraídos do *Visual3D*, foram posteriormente processados em *Python*. Aplicou-se um filtro *Butterworth* passa-baixo (6 Hz, ordem 2) e um filtro de média móvel (janela de 100 amostras). Adicionalmente, subtraiu-se o valor inicial ao sinal completo, de forma a que este se iniciasse em zero.

5.4 Considerações complementares

Para garantir a qualidade dos dados cinemáticos, era fundamental que todas as marcas refletoras colocadas nos participantes fossem captadas, em simultâneo, por pelo menos duas câmaras. Considerando que o sistema dispunha apenas de quatro câmaras *Qualisys* e que o laboratório tinha dimensões reduzidas, tornou-se necessário limitar a estatura dos participantes de forma a assegurar a visibilidade das marcas colocadas na cabeça e nos pés. Por conveniência, foram selecionadas participantes do sexo feminino com altura igual ou inferior a 1,65 m, uma vez que foi mais viável recrutar voluntárias com estas características.

A limitação do número de câmaras e do espaço disponível também impôs restrições à amplitude dos movimentos realizados. Para garantir a captação completa e simultânea de todas as marcas durante a execução das atividades, os movimentos tiveram de ser cuidadosamente controlados, com amplitudes reduzidas e maior previsibilidade. Esta abordagem permitiu obter dados mais fiáveis, embora à custa de alguma limitação da naturalidade dos gestos.

No que diz respeito à *t-shirt Hexoskin*, apesar das precauções tomadas para minimizar o ruído nos sinais fisiológicos — como a aplicação de fita cola dupla face em locais estratégicos, o ajuste apertado das bandas elásticas e a colocação de gel condutor nos elétrodos —, não foi possível eliminar totalmente alguns deslizamentos do tecido durante a execução dos movimentos. Esta instabilidade pode ter afetado, em particular, a qualidade do ECG em alguns casos.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo serão discutidos os dados obtidos dos participantes, com foco na qualidade das medições para avaliar a fiabilidade e pertinência na análise do desempenho durante as atividades propostas.

6.1 Dados da *t-shirt Hexoskin*

O desempenho de cada participante foi analisado para avaliar a qualidade dos dados fisiológicos recolhidos pela *t-shirt Hexoskin*, incluindo ECG, frequência cardíaca, frequência respiratória, número de passos e cadência. A plataforma permite visualizar graficamente a evolução temporal destes sinais, tornando a análise dos diferentes exercícios mais intuitiva e acessível aos profissionais de saúde.

Para compreender o comportamento geral dos sinais, foi calculada a média das métricas de todos os indivíduos por atividade (frequência média, máxima e mínima; frequência respiratória média, máxima e mínima) e o desvio padrão de cada parâmetro, considerando todos os dados agregados. Esta abordagem permitiu compreender a tendência geral dos sinais ao longo das diferentes tarefas, como apresentado na Tabela 6.1. Os valores de cada participante em cada atividade individual encontram-se nas Tabela C.3 a Tabela C.7 do Apêndice C.

De forma geral, a frequência cardíaca apresentou-se elevada, sobretudo em atividades com maior movimento (atividades 2, 3 e 5), devido a artefactos no ECG que podem ser interpretados incorretamente como batimentos adicionais, inflacionando a frequência cardíaca estimada. O desvio padrão elevado reflete uma grande variação entre participantes e entre

execuções, em concordância com a literatura: a *Hexoskin* demonstrou consistência em tarefas estáticas e de baixa intensidade, mas menor fiabilidade em atividades dinâmicas, com sobreestimação da frequência cardíaca. Thompson [39] observou médias de frequência cardíaca entre 84 e 89 batimentos por minuto, com desvios padrões elevados (≈ 13 batimentos por minuto), reforçando que a variabilidade é recorrente.

Em contraste, a frequência respiratória mostrou-se mais consistente, embora ligeiramente acima do esperado em repouso (atividade 1). Os valores aumentados nas restantes atividades podem estar associados ao esforço físico repetido. Os participantes com menor índice de massa corporal apresentaram sinais menos fiáveis, devido ao ajuste mais largo da *t-shirt* e à dificuldade do contacto ideal dos sensores com o corpo, que correspondem a problemas semelhantes descritos na literatura para populações não atléticas [39].

Tabela 6.1: Parâmetros da frequência cardíaca e respiratória de todos os participantes por atividade.

	<i>FCmed</i> (BPM)	<i>FCmax</i> (BPM)	<i>FCmin</i> (BPM)	<i>FRmed</i> (RPM)	<i>FRmax</i> (RPM)	<i>FRmin</i> (RPM)
	$\pm DP$	$\pm DP$	$\pm DP$	$\pm DP$	$\pm DP$	$\pm DP$
A1	94,6 $\pm$ 17,0	100,4 $\pm$ 16,6	90,8 $\pm$ 17,1	21,7 $\pm$ 3,5	24,3 $\pm$ 3,6	18,5 $\pm$ 4,1
A2	99,7 $\pm$ 14,4	111,7 $\pm$ 13,3	89,2 $\pm$ 16,9	22,8 $\pm$ 3,3	26,7 $\pm$ 4,3	18,2 $\pm$ 3,5
A3	99,1 $\pm$ 15,5	109,0 $\pm$ 17,1	91,3 $\pm$ 16,9	21,8 $\pm$ 3,3	26,2 $\pm$ 18,0	18,0 $\pm$ 4,2
A4	92,8 $\pm$ 19,2	102,8 $\pm$ 15,5	83,8 $\pm$ 23,1	20,7 $\pm$ 3,0	24,1 $\pm$ 3,0	17,7 $\pm$ 3,6
A5	94,9 $\pm$ 15,0	106,9 $\pm$ 15,9	85,2 $\pm$ 18,7	20,8 $\pm$ 4,9	24,5 $\pm$ 4,0	16,8 $\pm$ 4,9

A1—atividade 1; A2—atividade 2; A3—atividade 3; A4—atividade 4; A5—atividade 5; *FCmed*—frequência cardíaca média; *FCmax*—frequência cardíaca máxima; *FCmin*—frequência cardíaca mínima; *FRmed*—frequência respiratória média; *FRmax*—frequência respiratória máxima; *FRmin*—frequência respiratória mínima; BPM—batimentos por minuto; RPM—respirações por minuto; DP—desvio padrão.

A contagem de passos foi geralmente nula, exceto nas atividades 2 e 3, em que alguns movimentos foram interpretados como passos. Este padrão está em concordância com evidências anteriores, que indicam que a *Hexoskin* é fiável para contagem de passos apenas em velocidades de marcha mais elevadas ($\approx 3,5$ milhas por hora) [39]. A cadência manteve-se sempre nula, uma vez que o sistema regista apenas valores válidos a partir de 30 passos por minuto, limite não alcançado nas atividades mencionadas. Assim, embora limitada nestas tarefas específicas, a contagem de passos e a cadência continuam a ser parâmetros relevantes em atividades de locomoção contínua, como a marcha.

A monitorização objetiva de ECG, frequência cardíaca, frequência respiratória, passos e cadência durante a execução dos exercícios evidencia que os dispositivos *wearable*, como a *Hexoskin*, podem fornecer métricas com valor e contínuas para apoiar programas de

telereabilitação. Estes dados permitem avaliar a resposta fisiológica do paciente em tempo real, identificar variações individuais, detetar limitações na execução dos exercícios e ajustar o plano de tratamento de forma personalizada. Assim, a utilização de *wearables* no contexto de telereabilitação oferece potencial para aumentar a segurança, eficácia e individualização das intervenções remotas, complementando a avaliação clínica tradicional.

6.2 Dados do sistema *Qualisys* e *Visual3D*

Os dados cinemáticos, obtidos através do *Visual3D*, foram analisados com base nos seguintes parâmetros: ângulo mínimo, ângulo máximo, instante de ocorrência de cada um (% de tempo da atividade) e *ROM* (*Range of Motion*), definido como a diferença entre o ângulo máximo e ângulo mínimo ao longo de todo o sinal. Estes valores representam a análise conjunta de todos os participantes, permitindo caracterizar o padrão geral do movimento.

Para a atividade 1, os valores calculados encontram-se apresentados na Tabela 6.2 e serão analisados em seguida. Nas atividades dinâmicas (atividades 2 a 5), devido à presença de repetições, a análise centra-se no ciclo de maior amplitude de cada movimento, como mostrado na Tabela 6.3. Para cada ciclo de amplitude máxima, foram registados o ângulo mínimo e máximo, os instantes de ocorrência (% do tempo da atividade), a amplitude máxima registada e a duração do ciclo. Os parâmetros globais das atividades 2 a 5 (ângulo mínimo, ângulo máximo, instantes de ocorrência e *ROM* ao longo de todo o sinal) encontram-se na Tabela C.8 no Apêndice C.

Tabela 6.2: Parâmetros cinemáticos do movimento de todos os participantes para a atividade 1 e articulação lombo-sagrada.

<i>Articulação (eixo)</i>		<i>Tmin</i> (%)	<i>Âmin</i> (°) ± <i>DP</i>	<i>Tmax</i> (%)	<i>Âmax</i> (°) ± <i>DP</i>	<i>ROM</i> (°) ± <i>DP</i>
A1	Lombo-sagrada (X)	72,7	-0,3 ± 0,9	23,9	0,4 ± 0,8	0,7 ± 0,9
	Lombo-sagrada (Y)	1,1	0,0 ± 0,0	70,8	0,3 ± 0,7	0,3 ± 0,9
	Lombo-sagrada (Z)	47,1	-0,2 ± 0,5	97,9	0,1 ± 0,5	0,3 ± 0,9

Tmin—tempo mínimo; *Âmin*—ângulo mínimo; *Tmax*—tempo máximo; *Âmax*—ângulo máximo; *ROM*—*Range of Motion*; *DP*—desvio padrão.

É importante clarificar que o tempo mínimo e máximo correspondem ao instante, no sinal completo ou durante um ciclo, em que ocorre o ângulo mínimo e máximo, respetivamente, independentemente da ordem em que aparecem. Assim, é possível que o tempo máximo seja inferior ao tempo mínimo se, por exemplo, o ângulo máximo ocorre na flexão ou na

abdução de um segmento e, posteriormente atinge um mínimo ao realizar extensão ou adução quando regressa à posição de repouso.

A partir da Tabela 6.2 é possível concluir que a atividade 1 revelou uma baixa variabilidade angular com ROM < 1° em todos os planos com oscilações, mais evidentes no plano sagital (-0,3° a 0,4°), que sugerem pequenos ajustes compensatórios. Os valores obtidos (ROM < 1°) revelam uma variabilidade inferior à reportada por Pan et al. [51], que observaram alterações de 2–3° na lordose lombar e na orientação sacral no plano sagital durante a posição de pé com os braços relaxados. Considerando que Pan et al. [51] demonstraram também que diferentes posições dos braços e cotovelos influenciam significativamente esses ângulos, é plausível que a posição dos braços em abdução, adotada no presente estudo, tenha contribuído para reduzir ligeiramente a amplitude de oscilação, embora os valores obtidos continuem relativamente próximos aos reportados no estudo anterior. A assimetria temporal entre os ângulos máximos de flexão (23,9% do tempo) e o de rotação medial (97,9% do tempo) sugere uma estratégia neuromuscular eficiente para distribuir a carga muscular e otimizar a estabilidade postural.

Tabela 6.3: Parâmetros cinemáticos do movimento de todos os participantes para as atividades 2, 3, 4 e 5 e articulações relevantes.

	Articulação (eixo)	T _{min} (%)	Â _{min} (°) ± DP	T _{max} (%)	Â _{max} (°) ± DP	Amp _{max} (°) ± DP	Duração do ciclo (%)
A2	AD (X)	66,9	5,8 ± 6,3	73,3	55,1 ± 21,4	49,3 ± 22,6	6,4
	AD (Y)	79,9	3,3 ± 6,1	87,1	18,1 ± 9,8	14,8 ± 22,6	7,2
	JD (X)	80,7	7,6 ± 5,6	88,1	66,0 ± 24,7	58,3 ± 30,9	7,4
A3	AE (X)	82,6	6,0 ± 5,9	89,5	55,3 ± 19,1	49,3 ± 21,8	6,9
	AE (Y)	36,2	1,9 ± 3,2	43,4	20,4 ± 10,1	18,5 ± 21,8	7,2
	JE (X)	49,3	4,8 ± 9,0	58,4	69,0 ± 23,0	64,1 ± 32,5	7,0
A4	OD (Y)	80,9	-4,3 ± 13,7	89,1	21,3 ± 10,1	25,5 ± 15,2	8,2
A5	AD (X)	65,7	1,0 ± 4,3	58,0	44,5 ± 15,2	43,5 ± 21,4	7,8
	AE (X)	65,7	1,8 ± 4,3	58,0	45,6 ± 15,2	43,8 ± 21,9	7,7
	JD (X)	80,2	1,3 ± 3,6	73,1	49,4 ± 13,2	48,1 ± 23,6	7,1
	JE (X)	65,7	1,9 ± 3,0	58,0	50,0 ± 13,6	48,1 ± 24,3	7,7
	TD (X)	80,2	1,0 ± 2,4	73,0	16,8 ± 5,9	15,8 ± 7,5	7,2
	TE (X)	80,2	0,5 ± 1,9	73,0	15,8 ± 5,6	15,2 ± 7,4	7,2

T_{min}—tempo mínimo; Â_{min}—ângulo mínimo; T_{max}—tempo máximo; Â_{max}—ângulo máximo; Amp_{max}—amplitude máxima; DP—desvio padrão; AD—anca direita; JD—joelho direito; AE—anca esquerda; JE—joelho esquerdo; OD—ombro direito; TD—tornozelo direito; TE—tornozelo esquerdo; DP—desvio padrão.

Passando à análise das restantes atividades é importante observar os dados da Tabela 6.3. Nas atividades 2 e 3, foi necessário que os participantes realizassem uma ligeira abdução para capturar corretamente as marcas refletoras. No entanto, predominou a flexão no plano sagital (X), com amplitudes máximas iguais na articulação da anca direita e esquerda ($49,3^\circ$), acompanhadas de flexão de joelho direito e esquerdo ($58,4^\circ$ e $64,1^\circ$). No plano frontal (Y), a abdução da anca foi menor na direita ($14,8^\circ$) que na esquerda ($18,5^\circ$).

Estes valores são próximos dos reportados por Kirkwood et al. [56] durante a marcha em indivíduos idosos, onde a amplitude de movimento no plano sagital atingiu cerca de $38,9^\circ$ para a anca e $60,4^\circ$ para o joelho, e no plano frontal a anca apresentou em média $11,1^\circ$ de abdução. Apesar da diferença de faixa etária entre os grupos, a semelhança entre os valores sugere que, mesmo em tarefas diferentes, os padrões de movimento seguem uma lógica biomecânica comparável à marcha, reforçando o papel dominante do plano sagital. Além disso, a necessidade de abdução observada no presente protocolo, ainda que inicialmente justificada por razões técnicas de captura, poderá também ser entendida como uma estratégia estabilizadora, dado que na marcha a atuação dos abdutores da anca no plano frontal é fundamental para a manutenção do equilíbrio pélvico durante o apoio unipodal.

Na atividade 4, a duração foi maior que a das outras atividades, o que era expectável, porque ao contrário das restantes — nas quais havia 5 segundos de movimento e 5 segundos de repouso — os participantes realizavam a abdução e a adução do ombro de forma muito lenta, sendo feita apenas a contagem de 5 segundos de repouso. Nesta tarefa de abdução do ombro, realizada com o cotovelo em extensão completa, a maior amplitude angular foi registada no plano frontal, atingindo $25,5^\circ \pm 15,2$.

O valor mencionado, consideravelmente abaixo dos 90° inicialmente previstos no protocolo, é explicado pela grande variabilidade na interpretação da tarefa e na posição inicial pelos participantes. Apesar de instruídos para atingir uma posição de 90° (braço na horizontal), a maioria não alcançou essa amplitude completa. Mais relevante ainda, devido à tarefa de preensão do objeto que antecedia o movimento de abdução, os participantes iniciaram a atividade com ângulos substancialmente diferentes, variando desde os 16° até aos 41° . Apenas um participante iniciou o movimento de forma atípica, já com o braço bastante elevado ($\sim 70^\circ$), mas sem cumprir a fase de preensão. É importante salientar que todos os participantes foram incluídos na análise, sendo este valor de 70° um exemplo da variabilidade comportamental registada.

Tendo em conta que o movimento de abdução teve início a partir destas diferentes posições e que a amplitude total alcançada foi limitada, o valor médio final de 25,5° apresenta-se como um resultado coerente com a execução real observada. A elevada variabilidade ($\pm 15.2^\circ$) espelha, assim, estas diferenças entre participantes na compreensão e execução do exercício, realçando a importância de uma sessão de instruções e uma demonstração extremamente claras em ambientes de telereabilitação.

Na atividade 5, observou-se sincronia bilateral, com flexão da anca direita e esquerda de cerca de 44°, diferenças mínimas de amplitudes entre lados, flexão dos joelhos de 48,1° e amplitudes das articulações do tornozelo muito reduzidas ($\sim 15^\circ$). Comparando com a literatura, os valores de flexão da anca, joelho e tornozelo estão próximos daqueles reportados por Park et al. [53] em indivíduos a realizar um agachamento com os pés apoiados no chão, em que a anca apresenta cerca de -46,6°, o joelho 31,8° e o tornozelo 17,6° no plano sagital. No estudo, os valores negativos na anca representam flexão, enquanto os valores positivos no joelho e no tornozelo representam flexão, de acordo com a convenção adotada pelos autores.

Esta concordância sugere que os movimentos observados no presente estudo são consistentes com padrões fisiológicos de execução de agachamento controlado, reforçando a validade das medições obtidas com o *Visual3D*.

Temporalmente, os picos angulares ocorreram principalmente entre 58%-89% do tempo da atividade, sugerindo adaptação e estabilização no último terço do movimento. As durações dos ciclos apresentaram elevada consistência (6,4-8,2%), independentemente da articulação ou plano analisado.

A monitorização destes movimentos é particularmente relevante no contexto da telereabilitação, uma vez que as atividades escolhidas para este estudo correspondem a exercícios utilizados na reabilitação, incluindo tanto a observação do controlo postural, fornecendo informações objetivas sobre alterações ou défices motores e permitindo suporte clínico remoto [51], como o agachamento, um dos principais exercícios para fortalecimento de membros inferiores e recuperação funcional da anca e do joelho [53]. A análise detalhada dos ângulos articulares permite ajustar a execução e a carga dos exercícios remotamente, promovendo maior segurança, eficácia e personalização dos programas de reabilitação.

CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS

Nesta dissertação desenvolveu-se uma plataforma orientada para a telereabilitação, concebida para colmatar uma lacuna identificada nas soluções existentes: a ausência de métricas quantitativas objetivas que complementem o acompanhamento remoto dos pacientes. Embora a telereabilitação seja cada vez mais utilizada, continua a depender maioritariamente de avaliações subjetivas, o que limita a precisão e comparabilidade dos resultados.

A solução proposta integra, de forma sincronizada, dados fisiológicos recolhidos pela *t-shirt Hexoskin* e dados cinemáticos obtidos pelo sistema *Qualisys* e *Visual3D*, permitindo analisar diferentes vertentes do desempenho do paciente. Para isso, foi concebido um protocolo experimental específico, incluindo a recolha, processamento e filtragem dos sinais, bem como a extração das métricas mais relevantes, durante a realização de diversos movimentos.

Para além da integração e análise de dados, a plataforma incorpora um sistema de gestão multiutilizador, com perfis adaptados a administradores, profissionais de saúde e pacientes. Isto garante o acesso partilhado e centralizado às informações do paciente, promovendo uma comunicação mais eficiente entre os profissionais responsáveis pelo seu acompanhamento.

A plataforma permite criar novos registos, editar informações, arquivar perfis inativos e atribuir planos de tratamento personalizados com exercícios incorporados. Além disso, recolhe *feedback* qualitativo e disponibiliza métricas quantitativas detalhadas sobre o desempenho do paciente, oferecendo aos profissionais de saúde uma visão mais completa e objetiva da evolução clínica.

Os resultados confirmam a viabilidade técnica e funcional da plataforma, demonstrando que consegue reunir, processar e apresentar dados complexos de forma intuitiva e adaptada ao contexto clínico. Contudo, verificou-se que a recolha de ECG pela *t-shirt Hexoskin*

apresentou limitações durante movimentos, o que comprometeu a fiabilidade de algumas métricas cardíacas.

Conclui-se que a plataforma atinge os objetivos propostos e representa um contributo significativo para a integração de medidas quantitativas na telereabilitação, fornecendo uma ferramenta versátil que conjuga gestão, monitorização e análise objetiva do desempenho. Ainda que existam aspetos a otimizar, constitui uma base sólida para a evolução futura e implementação em contexto real. O trabalho desenvolvido apresenta um ponto de partida promissor para a evolução das plataformas de telereabilitação suportadas por dispositivos *wearable*. No entanto, há diversas possibilidades de expansão que podem enriquecer significativamente a solução proposta.

Para além das melhorias tecnológicas e expansão de funcionalidades, será essencial testar a plataforma em contexto real, validando a aplicabilidade prática, identificando limitações e orientando futuras adaptações. A plataforma é acessível a fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais, terapeutas da fala e fisiatras, contudo a sua conceção inicial foi orientada para responder, de forma mais direta, às necessidades dos fisioterapeutas e terapeutas ocupacionais, permitindo-lhes criar e personalizar planos de tratamento específicos dentro da plataforma. Embora os terapeutas da fala e os fisiatras possam utilizar a plataforma como ferramenta de apoio, não constituem os principais destinatários da versão atual. Futuramente, será relevante desenvolver funcionalidades específicas para os outros profissionais, promovendo uma abordagem interdisciplinar mais abrangente.

Uma das direções possíveis para trabalhos futuros consiste na integração de sensores complementares, como de eletromiografia, permitindo uma análise mais completa da ativação muscular, esforço e coordenação motora, essencial para detetar padrões de compensação, fadiga ou falhas na execução. Também se poderá expandir o protocolo experimental a uma amostra mais vasta de participantes saudáveis, com o objetivo de criar uma base normativa de referência para, posteriormente, comparar os resultados com pacientes com patologias específicas, facilitando a identificação de desvios clínicos relevantes e ajustando a reabilitação às necessidades individuais de cada paciente. Adicionalmente, explorar outros dados da *Hexoskin*, como parâmetros de sono, pode fornecer indicadores sobre a adesão ao tratamento e estado geral do paciente, particularmente em protocolos prolongados.

Estas perspetivas futuras abrem caminho para uma abordagem cada vez mais multidimensional, personalizada e baseada em dados objetivos, contribuindo para uma reabilitação mais eficaz e centrada no paciente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. F. Dias *et al.*, “Effectiveness of exercises by telerehabilitation on pain, physical function and quality of life in people with physical disabilities: A systematic review of randomised controlled trials with GRADE recommendations,” *Br J Sports Med*, vol. 55, no. 3, pp. 155–162, 2021, doi: 10.1136/bjsports-2019-101375.
- [2] S. Leslie, J. Tan, P. J. McRae, S. P. O’leary, and J. A. Adsett, “The effectiveness of exercise interventions supported by telerehabilitation for recently hospitalized adult medical patients: A systematic review,” *Int J Telerehabil*, vol. 13, no. 2, pp. 1–12, 2021, doi: 10.5195/ijt.2021.6356.
- [3] S. Y. Kim *et al.*, “Implementation of a Framework for Telerehabilitation in Clinical Care Across the Continuum during COVID-19 and beyond,” *Am J Phys Med Rehabil*, vol. 101, no. 1, pp. 53–60, 2022, doi: 10.1097/PHM.0000000000001904.
- [4] D. Brennan *et al.*, “A Blueprint for Telerehabilitation Guidelines,” *Int J Telerehabil*, vol. 2, no. 2, pp. 31–34, 2010, doi: 10.5195/ijt.2010.6063.
- [5] Y. J. Huang, C. S. Chang, Y. C. Wu, C. C. Han, Y. Y. Cheng, and H. M. Chen, “Development of Wearable Devices for Collecting Digital Rehabilitation/Fitness Data from Lower Limbs,” *Sensors*, vol. 24, no. 6, 2024, doi: 10.3390/s24061935.
- [6] S. Canali, V. Schiaffonati, and A. Aliverti, “Challenges and recommendations for wearable devices in digital health: Data quality, interoperability, health equity, fairness,” *PLOS Digital Health*, vol. 1, no. 10, pp. 1–13, 2022, doi: 10.1371/journal.pdig.0000104.
- [7] E. Pina, *Anatomia Humana da Locomoção - J. A. Esperança Pina.pdf*, 4th ed. 2010.
- [8] V. C. Mow, G. A. Ateshian, and R. L. Spilker, “Biomechanics of diarthrodial joints: A review of twenty years of progress,” *J Biomech Eng*, vol. 115, no. 4, pp. 460–467, 1993, doi: 10.1115/1.2895525,.
- [9] “Exercícios - Joelho.” Accessed: Sep. 25, 2025. [Online]. Available: https://mfr-exercicios.com/knee/knee_artrose.html
- [10] “Exercícios - Ombro.” Accessed: Sep. 25, 2025. [Online]. Available: https://mfr-exercicios.com/ombro/ombro_tend_basico.html
- [11] D. A. Szabo *et al.*, “The Role and Importance of Using Sensor-Based Devices in Medical Rehabilitation: A Literature Review on the New Therapeutic Approaches,” *Sensors*, vol. 23, no. 21, Nov. 2023, doi: 10.3390/S23218950,.

- [12] D. T. Wade, "What is rehabilitation? An empirical investigation leading to an evidence-based description," *Clin Rehabil*, vol. 34, no. 5, pp. 571–583, May 2020, doi: 10.1177/0269215520905112/SUPPL_FILE/20-01-15_SUPP_DATA_FIGURE.PDF.
- [13] S. L. Hitzig, L. Gotlib Conn, S. J. T. Guilcher, S. R. Cimino, and L. R. Robinson, "Understanding the role of the physiatrist and how to improve the continuum of care for trauma patients: a qualitative study," *Disabil Rehabil*, vol. 43, no. 20, pp. 2846–2853, 2021, doi: 10.1080/09638288.2020.1719215;CTYPE:STRING:JOURNAL.
- [14] M. J. Kleiner, E. A. Kinsella, M. Miciak, G. Teachman, E. McCabe, and D. M. Walton, "An integrative review of the qualities of a 'good' physiotherapist," *Physiother Theory Pract*, vol. 39, no. 1, pp. 89–116, Jan. 2023, doi: 10.1080/09593985.2021.1999354.
- [15] C. Killingback, M. Thompson, S. Chipperfield, C. Clark, and J. Williams, "Physiotherapists' views on their role in self-management approaches: A qualitative systematic review," *Physiother Theory Pract*, vol. 38, no. 12, pp. 2134–2148, 2022, doi: 10.1080/09593985.2021.1911011,.
- [16] R. A. Morrison, S. A. Hays, and M. P. Kilgard, "Vagus Nerve Stimulation as a Potential Adjuvant to Rehabilitation for Post-stroke Motor Speech Disorders," *Front Neurosci*, vol. 15, p. 715928, Aug. 2021, doi: 10.3389/FNINS.2021.715928/XML.
- [17] R. Proffitt, J. Cason, L. Little, and K. A. Pickett, "Stimulating Research to Advance Evidence-Based Applications of Telehealth in Occupational Therapy," *OTJR (Thorofare NJ)*, vol. 41, no. 3, pp. 153–162, Jul. 2021, doi: 10.1177/15394492211011433;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER.
- [18] L. Ørtenblad, T. Maribo, B. Quistgaard, E. Madsen, and C. Handberg, "Goal-Setting in clinical practice: a study of health-care professionals' perspectives in outpatient multidisciplinary rehabilitation of patients with spinal cord injury," *Disabil Rehabil*, vol. 45, no. 20, pp. 3330–3341, 2023, doi: 10.1080/09638288.2022.2125086,.
- [19] H. Lazem, A. Hall, Y. Gomaa, M. Mansoubi, S. Lamb, and H. Dawes, "The Extent of Evidence Supporting the Effectiveness of Extended Reality Telerehabilitation on Different Qualitative and Quantitative Outcomes in Stroke Survivors: A Systematic Review," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 20, no. 17, 2023, doi: 10.3390/ijerph20176630.
- [20] J. Hua, B. Chu, J. Zou, and J. Jia, "ECG signal classification in wearable devices based on compressed domain," *PLoS One*, vol. 18, no. 4 April, pp. 1–23, 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0284008.

- [21] L. Lu *et al.*, “Wearable Health Devices in Health Care: Narrative Systematic Review,” *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 8, no. 11, p. e18907, Nov. 2020, doi: 10.2196/18907.
- [22] T. Bowman *et al.*, “Wearable devices for biofeedback rehabilitation: A systematic review and meta-analysis to design application rules and estimate the effectiveness on balance and gait outcomes in neurological diseases,” *Sensors*, vol. 21, no. 10, 2021, doi: 10.3390/s21103444.
- [23] S. M. A. Iqbal, I. Mahgoub, E. Du, M. A. Leavitt, and W. Asghar, “Advances in healthcare wearable devices,” *npj Flexible Electronics*, vol. 5, no. 1, pp. 1–14, 2021, doi: 10.1038/s41528-021-00107-x.
- [24] “Hexoskin Smart Shirts - Cardiac, Respiratory, Sleep & Activity Metrics.” Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://hexoskin.com/>
- [25] “Módulo inteligente Hexoskin | Hexoskin.” Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://fr.hexoskin.com/collections/tout/products/module-hexoskin-smart-1>
- [26] “Placement of Hexoskin Sensors.” Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://support.hexoskin.com/placement-of-sensors-hexoskin-smart-shirts-proshirts>
- [27] “Health Research - ECG, HRV, Respiratory, Activity, Sleep Monitoring | Hexoskin.” Accessed: Sep. 24, 2025. [Online]. Available: <https://hexoskin.com/pages/health-research>
- [28] Rodolfo Vastola, Vladimir Medved, Albano Daniele, Silvia Coppola, and Maurizio Sibilio, “Use of Optoelectronic Systems for the Analysis of Technique in Trials,” *Journal of Sports Science*, vol. 4, no. 5, 2016, doi: 10.17265/2332-7839/2016.05.006.
- [29] “Calibration kits | Product categories | Qualisys.” Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.qualisys.com/accessories/calibration-kits/>
- [30] S. Cerfoglio *et al.*, “Evaluation of Upper Body and Lower Limbs Kinematics through an IMU-Based Medical System: A Comparative Study with the Optoelectronic System,” *Sensors*, vol. 23, no. 13, 2023, doi: 10.3390/s23136156.
- [31] S. Zanolì, G. Ansaloni, T. Teijeiro, and D. Atienza, “Event-based sampled ECG morphology reconstruction through self-similarity,” *Comput Methods Programs Biomed*, vol. 240, p. 107712, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.cmpb.2023.107712.
- [32] E. Ajdaraga and M. Gusev, “Analysis of sampling frequency and resolution in ECG signals,” *2017 25th Telecommunications Forum, TELFOR 2017 - Proceedings*, vol. 2017-January, pp. 1–4, Jan. 2018, doi: 10.1109/TELFOR.2017.8249438.

- [33] Z. Bouzid, S. S. Al-Zaiti, R. Bond, and E. Sejdić, "Remote and wearable ECG devices with diagnostic abilities in adults: A state-of-the-science scoping review," *Heart Rhythm*, vol. 19, no. 7, pp. 1192–1201, 2022, doi: 10.1016/j.hrthm.2022.02.030.
- [34] F. Liu, A. A. Wanigatunga, and J. A. Schrack, "Assessment of Physical Activity in Adults Using Wrist Accelerometers," *Epidemiol Rev*, vol. 43, no. 1, pp. 65–93, 2021, doi: 10.1093/epirev/mxab004.
- [35] E. Clark *et al.*, "Use of accelerometers in determining risk of falls in individuals post-stroke: A systematic review," *Clin Rehabil*, vol. 37, no. 11, pp. 1467–1478, 2023, doi: 10.1177/02692155231168303.
- [36] B. Zhang *et al.*, "The effects of action observation training on improving upper limb motor functions in people with stroke: A systematic review and meta-analysis," *PLoS One*, vol. 14, no. 8, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0221166.
- [37] K. K. V. Mate *et al.*, "Evidence for the Efficacy of Commercially Available Wearable Biofeedback Gait Devices: Consumer-Centered Review," *JMIR Rehabil Assist Technol*, vol. 10, 2023, doi: 10.2196/40680.
- [38] Akshitbhai Virani, "Technology-enhanced telerehabilitation for post-stroke recovery: A literature review of digital platforms and patient outcomes," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 25, no. 2, pp. 1606–1615, Feb. 2025, doi: 10.30574/WJARR.2025.25.2.0526.
- [39] "THESIS OCCUPATIONAL PHYSICAL ACTIVITY IN SEDENTARY AND Submitted by Janalee Thompson Department of Environmental and Radiological Health Sciences In partial fulfillment of the requirements For the degree of Master of Science Colorado State University Fort," 2017.
- [40] A. Keogh, J. F. Dorn, L. Walsh, F. Calvo, and B. Caulfield, "Comparing the usability and acceptability of wearable sensors among older Irish adults in a real-world context: Observational study," *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 8, no. 4, p. e15704, Apr. 2020, doi: 10.2196/15704.
- [41] B. C. Loftness, J. Halvorson-Phelan, A. O'leary, N. Cheney, E. W. McGinnis, and R. S. McGinnis, "UVM KID Study: Identifying Multimodal Features and Optimizing Wearable Instrumentation to Detect Child Anxiety," *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, vol. 2022-July, pp. 1141–1144, 2022, doi: 10.1109/EMBC48229.2022.9871090.

- [42] E. Alzueta *et al.*, “Tracking Sleep, Temperature, Heart Rate, and Daily Symptoms Across the Menstrual Cycle with the Oura Ring in Healthy Women,” *Int J Womens Health*, vol. 14, no. March, pp. 491–503, 2022, doi: 10.2147/IJWH.S341917.
- [43] “Path Finder | Parkinson’s Walking Aid – Walk With Path.” Accessed: Sep. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.walkwithpath.com/collections/all/products/path-finder-2-0>
- [44] “Hexoskin Smart Clothing Collections.” Accessed: Sep. 24, 2025. [Online]. Available: <https://hexoskin.com/collections/all?srsltid=Afm-BOooxzKnEWsqJcT3cVpO3Rt1JCtzEiaRk9eIbNxnHCdl8Nbt3vqjd>
- [45] “Shop Oura Ring Gen3: Heritage Black.” Accessed: Sep. 24, 2025. [Online]. Available: <https://ouraring.com/product/rings/oura-gen3/heritage/black?srsltid=Afm-BOor7fFnXdZQMzQCxQLZ0lbI52ymvjRoEev8I3uTkuB48u3WjDb9K>
- [46] Y. Morimoto *et al.*, “Web Portals for Patients With Chronic Diseases: Scoping Review of the Functional Features and Theoretical Frameworks of Telerehabilitation Platforms,” *J Med Internet Res*, vol. 24, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.2196/27759.
- [47] W. O. Braganca and I. E. Kho, “Comparative Analysis of Python Microframeworks: Flask, Dash, and CherryPy,” *researchgate.net*, Jul. 2023, doi: 10.13140/RG.2.2.17101.82402.
- [48] “About SQLite.” Accessed: Aug. 18, 2025. [Online]. Available: <https://sqlite.org/about.html>
- [49] “Spherical Marker with plastic base | Qualisys.” Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.qualisys.com/accessories/markers/super-spherical-markers/>
- [50] “Miquis | Portable and Affordable Mocap Cameras - Qualisys.” Accessed: Feb. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.qualisys.com/cameras/miquis/#tech-specs>
- [51] F. Pan, R. Zhu, T. Zander, S. Lu, and H. Schmidt, “The sagittal sways of back lordosis and sacral orientation during still standing at different arm positions,” *J Biomech*, vol. 114, p. 110149, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JBIOMECH.2020.110149.
- [52] B. Friesenbichler, A. Grassi, C. Grobet, L. Audigé, and B. Wirth, “Is limited shoulder abduction associated with poor scapulothoracic mobility after reverse shoulder arthroplasty?,” *Arch Orthop Trauma Surg*, vol. 141, no. 4, pp. 587–591, Apr. 2021, doi: 10.1007/S00402-020-03445-Z/TABLES/1.
- [53] S.-H. Park and E.-M. Jang, “Effects of the Ankle Joint Position on the Kinematic Characteristics of the Lower Extremities Between Individuals with Normal and High Q-

- Angles During Bilateral Squat,” *Korean Society of Physical Medicine*, vol. 19, no. 4, pp. 11–20, Nov. 2024, doi: 10.13066/KSPM.2024.19.4.11.
- [54] “Hexostore API Documentation.” Accessed: Aug. 14, 2025. [Online]. Available: <https://api.hexoskin.com/docs/resource/datatype/>
- [55] “HAS-Motion | Biomechanics Visual3D Platform UK.” Accessed: Aug. 18, 2025. [Online]. Available: https://www.target3d.co.uk/has-motion?utm_source=chatgpt.com
- [56] R. N. Kirkwood, H. D. A. Gomes, R. F. Sampaio, E. Culham, and P. Costigan, “Análise biomecânica das articulações do quadril e joelho durante a marcha em participantes idosos,” *Acta Ortop Bras*, vol. 15, no. 5, pp. 267–271, 2007, doi: 10.1590/S1413-78522007000500007.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA PLATAFORMA *TELEREHASync*

Este apêndice contém as ligações entre as tabelas da base de dados da plataforma, todas as partes do fluxograma detalhado para auxílio da sua compreensão e algumas interfaces importantes não mostradas anteriormente.

A.1 Ligações da base de dados

A Figura A.1 apresenta as ligações entre todas as tabelas da base de dados, evidenciando a coerência e a complexidade do seu modelo relacional.

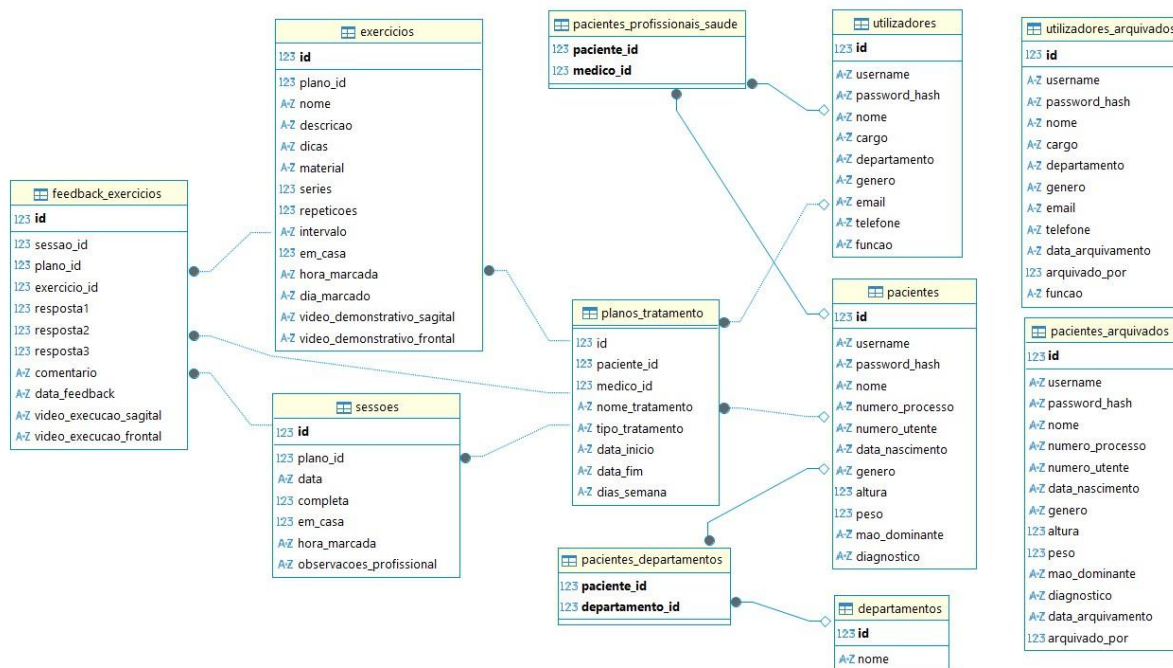


Figura A.1: Relações entre as tabelas da base de dados.

A.2 Fluxograma

O fluxograma da plataforma foi dividido em várias imagens por questões de legibilidade. Cada figura apresenta uma secção distinta do processo, permitindo acompanhar de forma clara o fluxo de navegação e funcionalidades.

A Figura A.2 apresenta a secção inicial do fluxograma, correspondente ao processo de *login* e seleção de perfil.

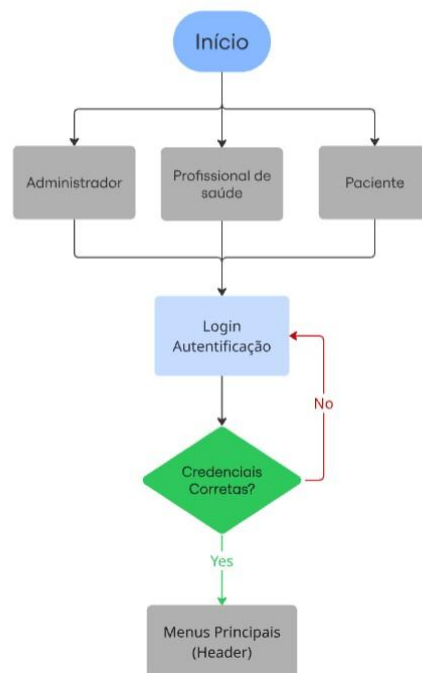


Figura A.2: Fluxograma do *login*.

As figuras abaixo apresentam a secção do fluxograma relativa aos menus principais acessíveis pelo administrador. A Figura A.3 ilustra os menus de gestão de utilizadores e pacientes, enquanto a Figura A.4 apresenta o menu de registos arquivados.

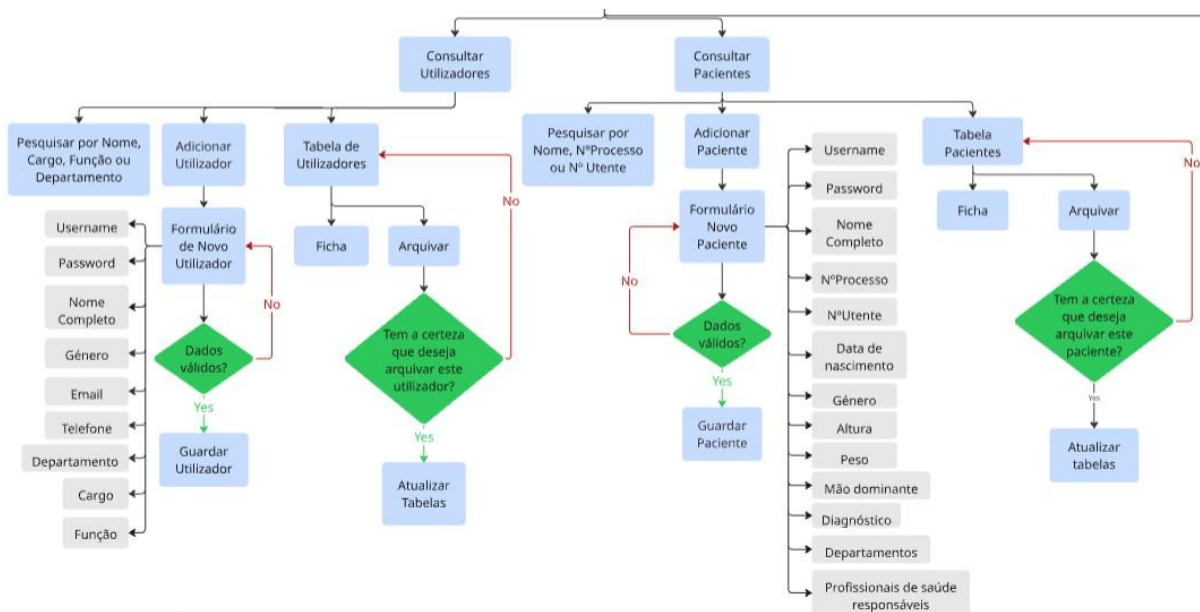


Figura A.3: Fluxograma dos menus "Consultar Utilizadores" e "Consultar Pacientes" do administrador.

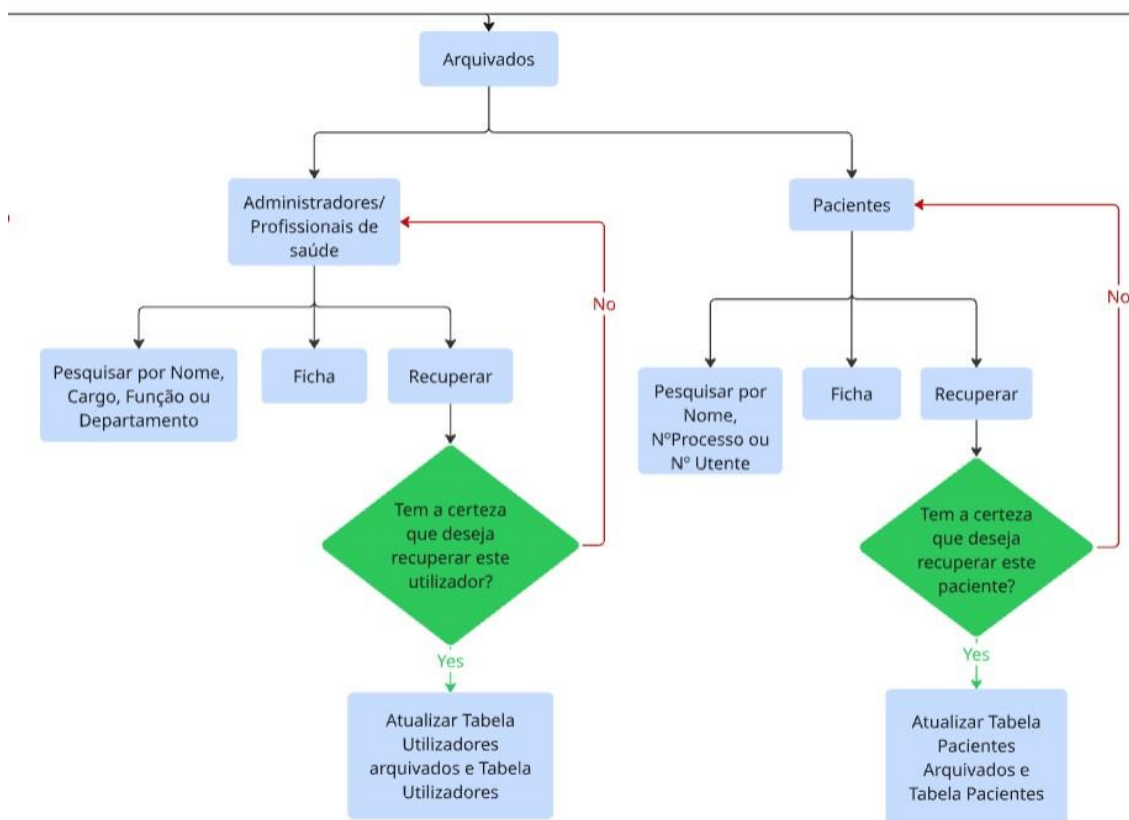


Figura A.4: Fluxograma do menu "Arquivados" do administrador.

As figuras abaixo apresentam a secção do fluxograma relativa à interface do profissional de saúde. A Figura A.5 mostra o menu principal de consulta de pacientes, a Figura A.6

apresenta o formulário para criar um novo plano de tratamento para um paciente e a Figura A.7 apresenta todos os detalhes de um plano de tratamento já criado.

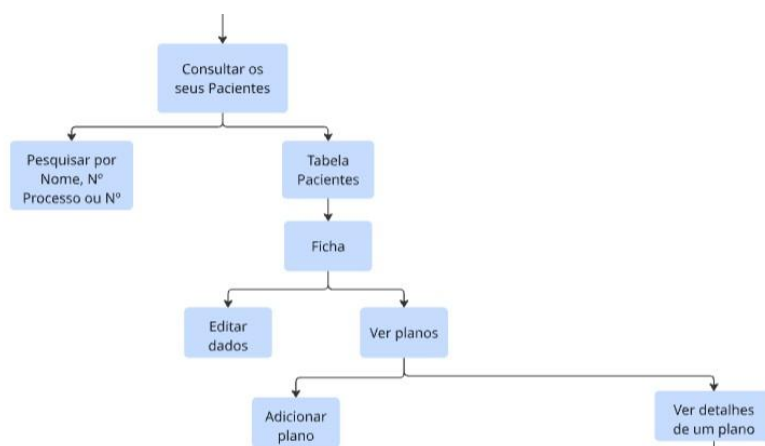


Figura A.5: Menu de “Consultar os seus Pacientes” da interface do profissional de saúde.

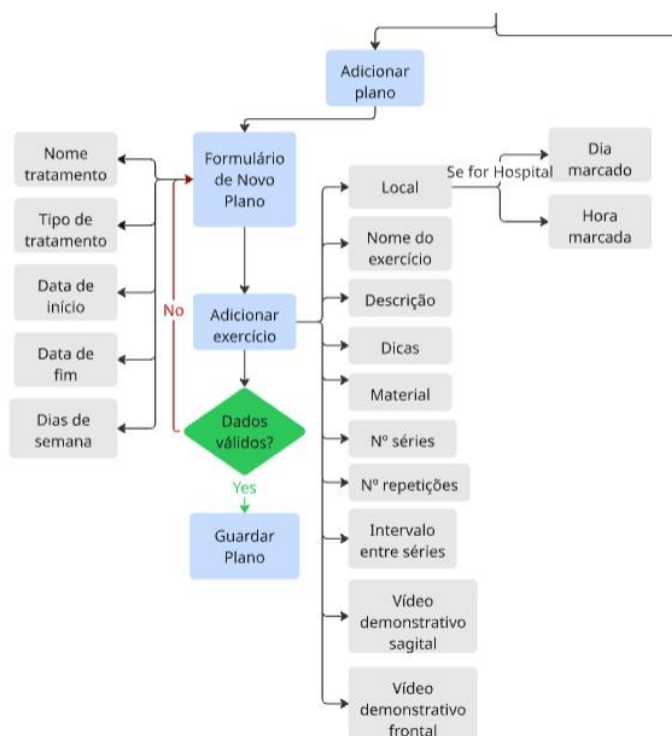


Figura A.6: Formulário de criação de um novo plano de tratamento da interface do profissional de saúde.

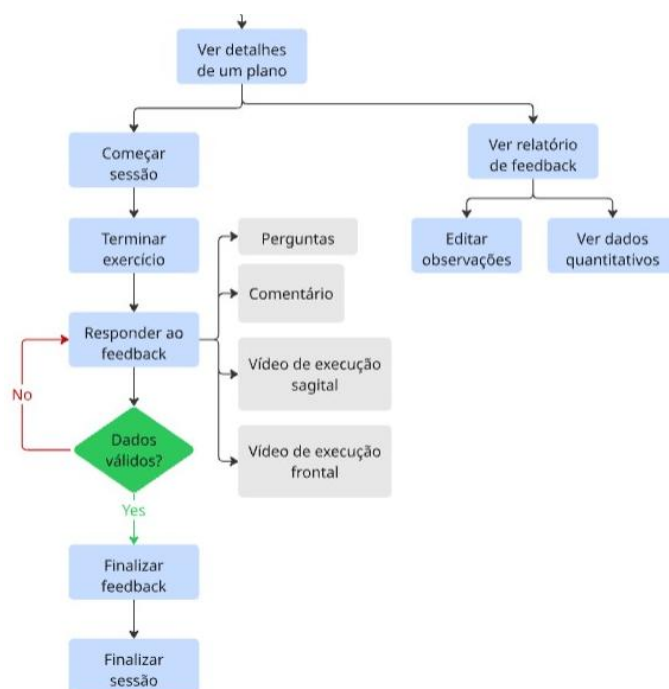


Figura A.7: Detalhes de um plano de tratamento existente na interface do profissional de saúde.

A Figura A.8 apresenta o menu dos planos disponíveis na interface do paciente. Esta secção da plataforma é semelhante à apresentada no fluxograma do profissional de saúde no que respeita à visualização dos detalhes de cada plano de tratamento.



Figura A.8: Menu dos planos de tratamento da interface do paciente.

A última secção do fluxograma reúne os menus comuns a todas as interfaces (administrador, profissional de saúde e paciente), como mostra a Figura A.9.

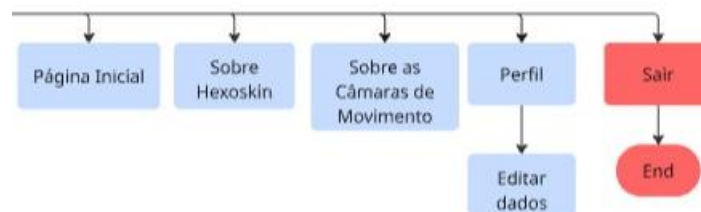


Figura A.9: Menus comuns a todos os perfis de utilizador.

A.3 Interfaces da plataforma

Primeiramente, apresentam-se duas figuras (Figura A.10 e Figura A.11) da página “Início”, uma referente à interface do profissional de saúde e outra à do paciente, permitindo comparar a visualização e os elementos disponíveis em cada perfil.

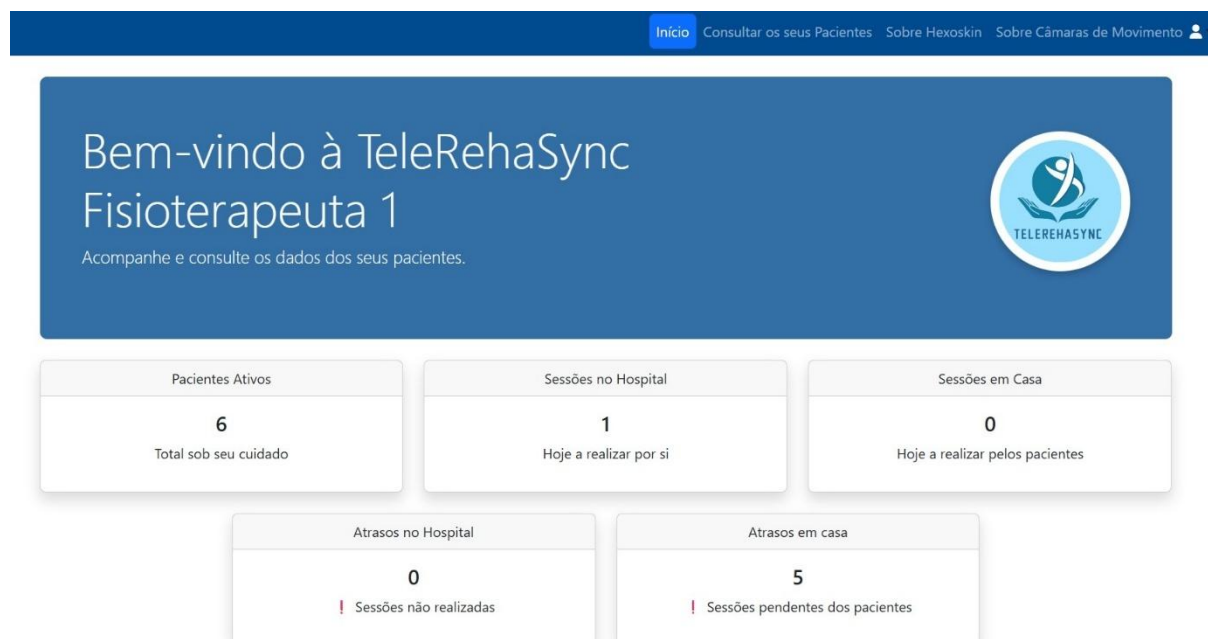


Figura A.10: Página "Início" do profissional de saúde.

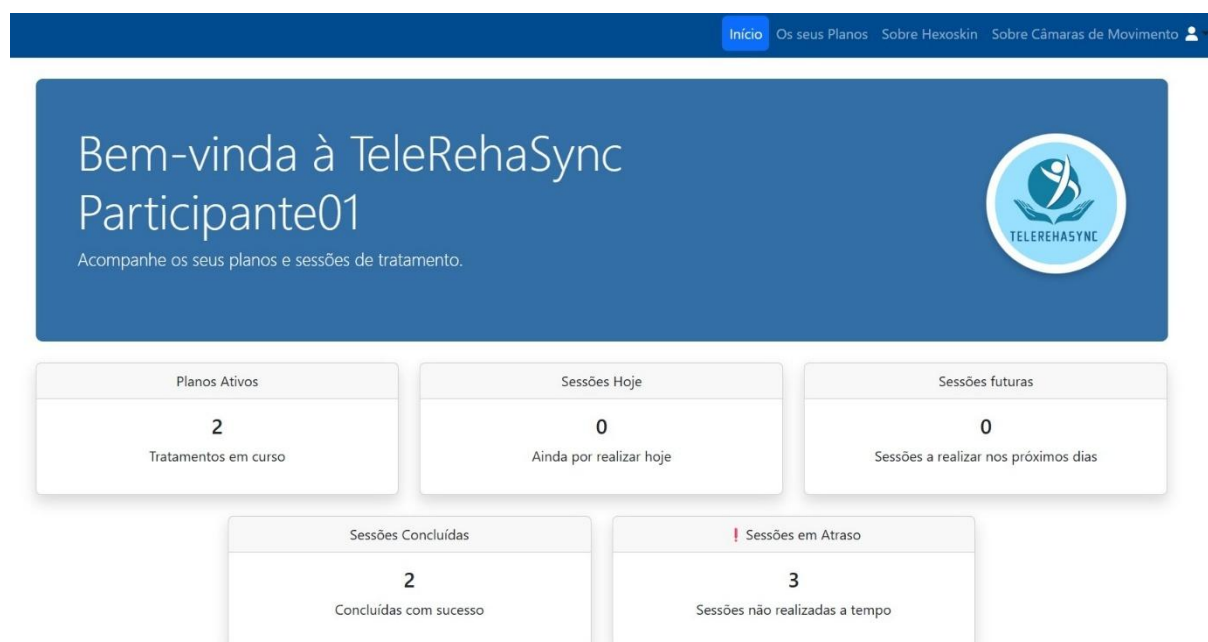


Figura A.11: Página "Início" do paciente.

Em seguida, apresenta-se a interface do profissional de saúde na visualização dos planos dos pacientes na Figura A.12. A interface do paciente na visualização dos seus planos apresenta os mesmos elementos, exceto o botão “Novo plano”.

Figura A.12: Página dos planos do paciente da interface do profissional de saúde.

Seguem-se, nas figuras seguintes, imagens do formulário de criação de um novo plano. A Figura A.13 apresenta o formulário com as informações iniciais gerais, necessárias para a configuração do plano de tratamento de um paciente. Já a Figura A.14 mostra o formulário quando se adiciona um exercício ao plano, ilustrando os campos específicos e opções disponíveis para detalhar cada atividade.

Figura A.13: Parte inicial do formulário de criação de um novo plano de tratamento.

Exercícios

Exercício 1

Local da Sessão

☒ Em Casa ☐ No Hospital

Nome do Exercício

Ex: Agachamento com apoio

Descrição

Descrição do exercício

Dicas

Dicas

Material

Material necessário

Nº de Séries

Ex: 20

Nº de Repetições

Ex: 10

Intervalo Entre Séries

Ex: 30 seg

Vídeo Demonstrativo Sagital

Vídeo Sagital

Vídeo Demonstrativo Frontal

Vídeo Frontal

Cancelar

+ Adicionar Exercício

Figura A.14: Campos a preencher quando se adiciona um exercício a um plano de tratamento.

Quando o exercício é selecionado para ser realizado no hospital, surgem campos adicionais no formulário, ilustrados na Figura A.15.

Exercícios

Exercício 1

Local da Sessão

☐ Em Casa ☒ No Hospital

Dia Marcado 08/20/2025

Hora Marcada 09:00

Figura A.15: Campos adicionais quando o exercício é para ser realizado no hospital.

Por fim, a Figura A.16 apresenta o relatório que surge quando o paciente conclui uma sessão. Este permite ao profissional de saúde aceder ao *feedback* qualitativo e quantitativo do paciente quando realizou os exercícios do plano numa sessão. A Figura A.17 ilustra a interface do profissional de saúde com o conteúdo do relatório.

Estado	Local	Ação
✓	Casa	
✗	Casa	Começar Sessão
✗	Casa	Começar Sessão

Figura A.16: Parte da interface do profissional de saúde com os estados de sessões e o relatório de uma sessão.


Sessão de 14/07/2025

Feedback da Sessão

Exercício	Descrição	Dor	Fadiga	Dificuldade	Comentário	Dados
agachamento	Agachar e permanecer nessa posição durante 5 segundos levantar e permanecer nessa posição durante 5 segundos	2	4	3	Foi fácil	Ver Dados

Observações do Profissional de Saúde

Sem observações.


Figura A.17: Informações qualitativas do *feedback* do paciente da interface do profissional de saúde que criou o plano.

CONSENTIMENTO INFORMADO

Neste apêndice encontra-se o consentimento informado fornecido aos participantes antes da recolha de dados.

CONSENTIMENTO INFORMADO PARA INVESTIGAÇÃO

Integração de *t-shirt wearable* com plataforma de exercícios para telereabilitação

Eu, abaixo-assinado (nome completo do voluntário)

declaro não estar a participar em nenhum outro projeto de investigação neste momento. Recebi o documento referente ao procedimento que concordei em efetuar e que explica todos os passos a seguir. Compreendi a explicação que me foi fornecida pelo investigador que assina este documento. Foi-me ainda dada oportunidade de fazer as perguntas que julguei necessárias, e de todas obtive resposta satisfatória.

Tomei conhecimento de que, de acordo com as recomendações da Declaração de Helsínquia, a informação ou explicação que me foi prestada versou os objetivos, os métodos, os benefícios previstos, os riscos potenciais e o eventual desconforto. Adicionalmente, foi-me afirmado que tenho o direito de cessar a minha participação no estudo, a qualquer momento, bem como pedir a imediata eliminação de todos os meus dados recolhidos no âmbito do estudo, sem que isso possa ter como efeito qualquer prejuízo na assistência que me é prestada.

Por isso, consinto de forma livre e esclarecida que me seja aplicado o método, o tratamento ou o inquérito proposto pelo investigador.

Assinatura do voluntário: _____

Data: ____ / ____ / ____

Nome e assinatura do Investigador responsável:

Data: ____ / ____ / ____

Anulação do Consentimento informado

Declaro que recebi a Informação ao participante referente ao estudo/projeto de investigação em questão, que me foi proposto pelo investigador que assina este documento e pretendo anular o consentimento dado na data ____ / ____ / ____.

Assinatura do voluntário: _____

Data: ____ / ____ / ____

Assinatura do Investigador responsável:

Data: ____ / ____ / ____

Obs.: Fornecimento de cópia ao participante voluntário

Questionário de validação do estudo

O presente questionário pretende utilizar os dados para a validação do estudo, e tirar conclusões mais completas acerca do estudo. Os dados recolhidos são anónimos e serão usados exclusivamente para o objetivo referido.

Código: _____ (Não preencher este campo)

1. Idade: _____ anos
2. Data de nascimento: ____ / ____ / ____
3. Sexo: ☐ Feminino ☐ Masculino
4. Altura: _____ m
5. Peso: _____ kg
6. Mão dominante _____

Em nome de toda a equipa, o nosso agradecimento pela sua disponibilidade e colaboração!

INFORMAÇÕES E RESULTADOS COMPLEMENTARES AO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste apêndice são apresentados os detalhes adicionais referentes ao estudo. São incluídas as informações obtidas dos participantes durante a recolha de dados, as marcas utilizadas para a definição de todos os segmentos corporais do modelo biomecânico na subsecção, bem como os resultados fisiológicos e cinemáticos.

C.1 Informações dos participantes

Tabela C.1: Informações dos participantes.

<i>Participante</i>	<i>Idade (anos)</i>	<i>Sexo</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Mão dominante</i>
1	23	Feminino	1,50	54	Direita
2	22	Feminino	1,59	51	Direita
3	22	Feminino	1,60	60	Direita
4	21	Feminino	1,57	50	Direita
5	22	Feminino	1,60	48	Direita
6	22	Feminino	1,57	51	Direita
7	23	Feminino	1,60	56	Esquerda
8	19	Feminino	1,59	62	Direita
9	22	Feminino	1,60	59	Direita
10	23	Feminino	1,60	61	Direita

C.2 Distribuição das marcas refletoras

A Figura C.1 apresenta a configuração das marcas refletoras utilizadas no estudo, segundo o *Animation Optional Marker Set* do sistema *Qualisys*.

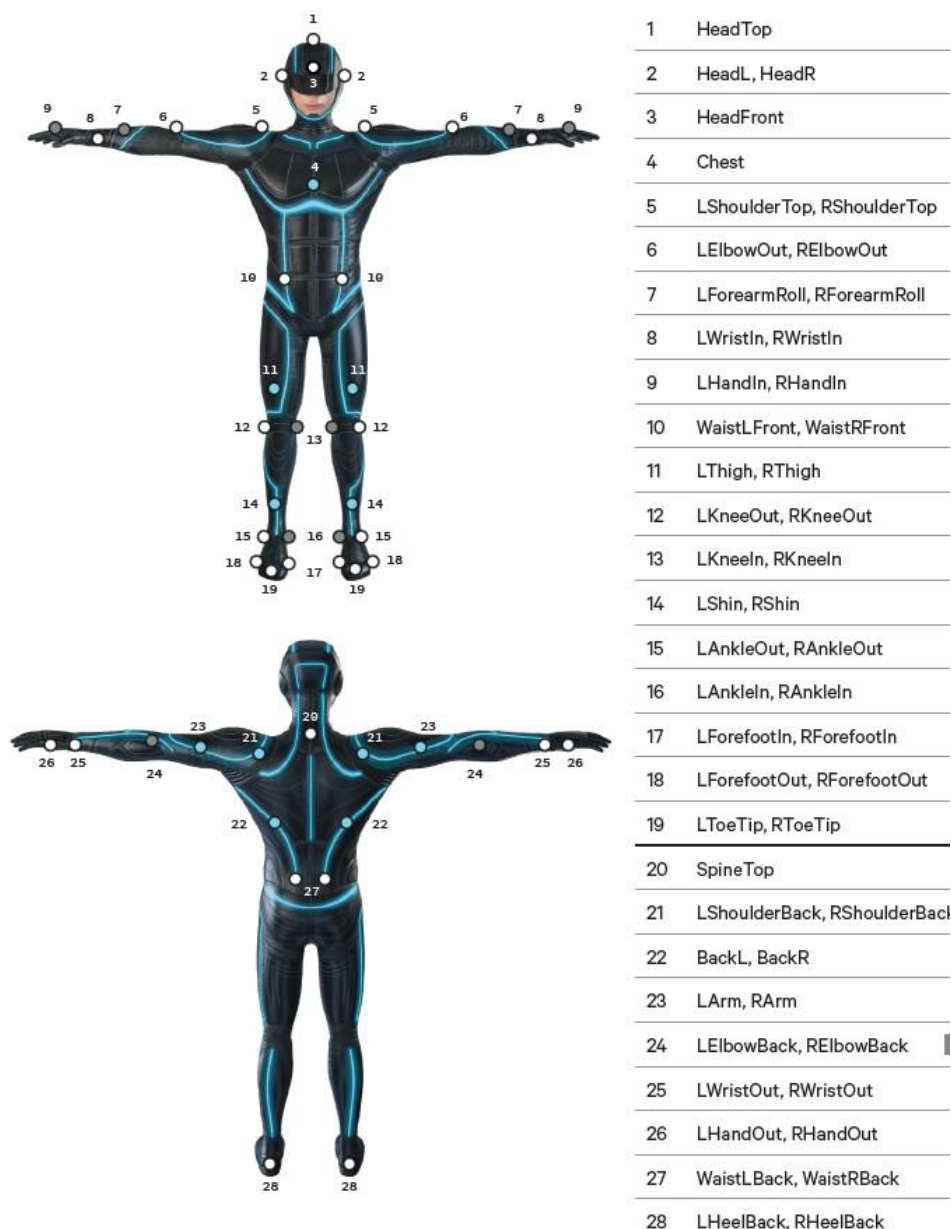


Figura C.1: *Animation Optional Marker Set*. (Retirado do sistema *Qualisys*).

C.3 Disposição das câmaras do *Qualisys*

A Figura C.2 apresenta a posição das quatro câmaras *Miqus M3* do *Qualisys* utilizadas durante o protocolo experimental, permitindo capturar os movimentos no espaço necessário para a análise cinemática.

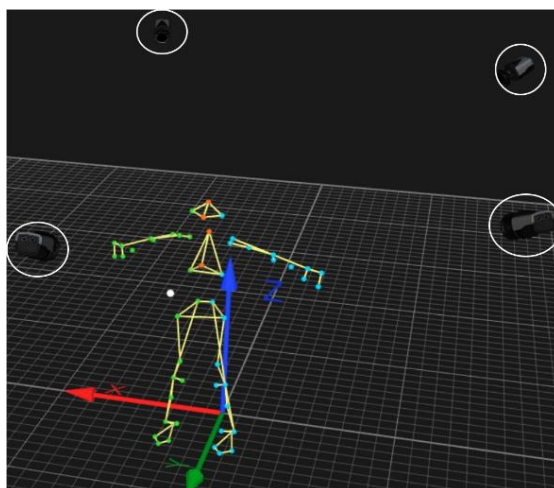


Figura C.2: Localização das 4 câmaras *Miqus M3* durante o procedimento experimental.

C.4 Modelo biomecânico

A Figura C.3 apresenta o modelo biomecânico criado a partir das marcas refletoras, que define os segmentos corporais e foi posteriormente aplicado aos movimentos dinâmicos para calcular os ângulos articulares durante os exercícios propostos.

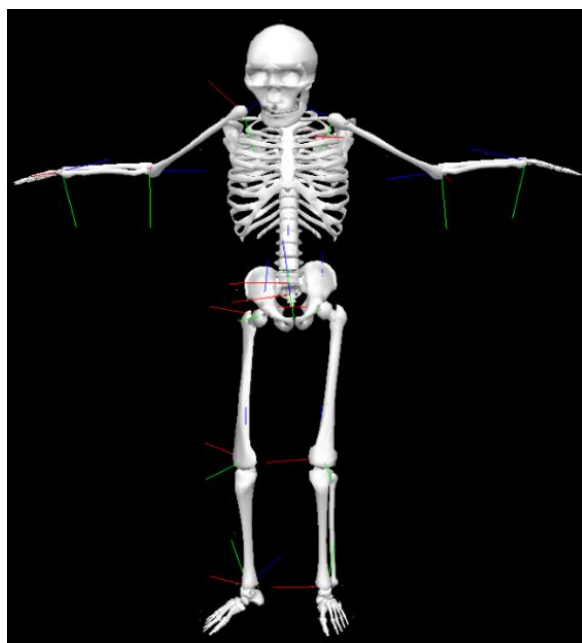


Figura C.3: Modelo biomecânico com os eixos das coordenadas em cada segmento.

C.5 Atividades do protocolo experimental

Para complementar a descrição do protocolo experimental, a Figura C.4 à Figura C.8 ilustram a execução das atividades realizadas pelos participantes. A Figura C.4 serve como referência

para a posição inicial adotada nas Atividades 2, 3 e 5, enquanto a Figura C.7 apresenta a posição inicial característica deste exercício, com o braço já próximo do objeto. As figuras mostram as posições iniciais e os movimentos característicos de cada exercício, em diferentes perspectivas quando aplicável.



Figura C.4: Atividade 1 - ombros em abdução entre 45° e 90°, cotovelos em extensão (posição inicial).



Figura C.5: Atividade 2 - flexão da coxo-femoral e do joelho direito nas perspectivas frontal e sagital.



Figura C.6: Atividade 3 - flexão da coxo-femoral e do joelho esquerdo nas perspectivas frontal e sagital.



Figura C.7: Atividade 4 - preensão do objeto e abdução controlada do ombro direito até $\sim 90^\circ$ e cotovelo em extensão e punho em posição neutra.



Figura C.8: Atividade 5 - flexão simultânea da coxo-femoral e joelhos até $\sim 45^\circ$ nas perspectivas frontal e sagital.

C.6 Construção do modelo biomecânico

As marcas refletoras utilizadas para definir cada articulação e o respetivo raio encontram-se na Tabela C.2 com exceção das referentes à pelve. Para esta, em vez de se utilizar uma marca na zona lateral, medial ou centro da articulação, recorrem-se a marcas específicas que definem a espinha ilíaca ântero-superior (WaistRFront e WaistLFront) e a espinha ilíaca pósterio-superior (WaistRBack e WaistLBack).

Tabela C.2: Definição das marcas refletoras na construção do modelo biomecânico.

	<i>Região proximal</i>	<i>Região distal</i>	<i>Marcas de seguimento</i>
<i>Cabeça</i>	midstmc7* (C)	HeadTop (C)	HeadFront, HeadL, HeadR, HeadTop
<i>Tronco</i>	Right_Iliac* (L)	RShoulderTop (L)	Chest, LShoulderTop, RShoulderTop, Spine- Top
	Left_Iliac* (M)	LShoulderTop (M)	
<i>Braço di- reito</i>	RShoulderTop (C)	RElbowOut (L)	RArm, RElbowBack, RElbowOut, RShoulder- Back, RShoulderTop
	RShoulderBack (M)	RElbowBack (C)	
<i>Antebraço direito</i>	RElbowOut (L)	RWristIn (L)	RElbowBack, RElbowOut, RForearmRoll, RWristIn, RWristOut
	RElbowBack (C)	RWristOut (M)	
<i>Mão di- reita</i>	RWristIn (L)	RHandIn (L)	RHandIn, RHandIn, RHandOut, RWristIn, RWristOut
	RWristOut (C)	RHandOut (M)	
<i>Braço es- querdo</i>	LShoulderTop (C)	LElbowOut (L)	LArm, LElbowBack, LElbowOut, LShoulder- Back, LShoulderTop
	LShoulderBack (M)	LElbowBack (C)	
<i>Antebraço esquerdo</i>	LElbowOut (L)	LWristIn (L)	LElbowBack, LElbowOut, LForearmRoll, LWristIn, LWristOut
	LElbowBack (C)	LWristOut (M)	
<i>Mão es- querda</i>	LWristIn (L)	LHandIn (L)	LHandIn, LHandOut, LWristIn, LWristOut
	LWristOut (M)	LHandOut (M)	
<i>Perna di- reita</i>	Right_Hip* (C)	Rkjc* (C)	Right_Hip*, rkjc*, RKneeIn, RKneeOut, RThigh
<i>Coxa di- reita</i>	rkjc* (C)	RAnkleout (L)	RAnkleIn, RAnkleOut, RKneeIn, RKneeOut, RShin
		RAnkleIn (M)	
<i>Pé direito</i>	RAnkleOut (L)	RForefootOut (L)	RAnkleIn, RAnkleOut, RForefootIn, RForefoo- tOut, RHeelBack, RToeTip
	RAnkleIn (M)	RForefootIn (M)	
<i>Perna es- querda</i>	Left_Hip* (C)	Lkjc* (C)	Left_Hip*, lkjc*, LKneeIn, LKneeOut, LThigh
<i>Coxa es- querda</i>	Lkjc* (C)	LAnkleOut (L)	LAnkleIn, LAnkleOut, LKneeIn, LKneeOut, LShin
		LAnkleIn (M)	
<i>Pé es- querdo</i>	LAnkleOut (L)	LForefootOut (L)	LAnkleIn, LAnkleOut, LForefootIn, LForefoo- tOut, LHeelBack, LToeTip
	LAnkleIn (M)	LForefootIn (M)	

C—centro da articulação; L—lateral; M—medial; Marcas com * são marcas virtuais.

As marcas virtuais que se encontram na Tabela C.2 foram criadas no *Visual3D*. Estas foram definidas da seguinte forma:

- midstmc7: ponto médio entre SpineTop e Chest.
- Right_Iliac: coordenadas calculadas através das equações $(114+22,332) * ASIS_DISTANCE/228$ (direção médio-lateral), $(-54,477) * ASIS_SACR/143,5$ (direção ântero-posterior), $(33,1) * ASIS_DISTANCE/228$ (direção axial).

- Left_Iliac: coordenadas calculadas através das equações $-(114+22,332) * ASIS_DISTANCE/228$ (direção médio-lateral), $(-54,477) * ASIS_SACR/143,5$ (direção ântero-posterior), $(33,1) * ASIS_DISTANCE/228$ (direção axial).
- Right_Hip: coordenadas calculadas através das equações $0,36*ASIS_Distance*ROV_ML_Direction$ (direção médio-lateral), $-0,19*ASIS_Distance*RPV_AP_Direction$ (direção ântero-posterior), $-0,30*ASIS_Distance_Axial_Direction$ (direção axial).
- Left_Hip: coordenadas calculadas através das equações $-0,36*ASIS_Distance*ROV_ML_Direction$ (direção médio-lateral), $-0,19*ASIS_Distance*RPV_AP_Direction$ (direção ântero-posterior), $-0,30*ASIS_Distance_Axial_Direction$ (direção axial).
- Rkjc: ponto médio entre RKneeOut e RKneeIn.
- Lkjc: ponto médio entre LKneeOut e LKneeIn.
- SACR: ponto médio entre WaistRBack e WaistLBack, necessário para calcular ASIS_SACR.

Todas as restantes variáveis presentes nas equações são obtidas diretamente ao inserir os dados de cada participante no *Visual3D*.

C.7 Dados fisiológicos

Nas Tabela C.3 a Tabela C.7 encontram-se todos os dados da frequência cardíaca e frequência respiratória para cada atividade e participante.

Tabela C.3: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 1 de todos os participantes.

Participante	FCmed (BPM)	FCmax (BPM)	FCmin (BPM)	FRmed (RPM)	FRmax (RPM)	FRmin (RPM)
1	78,1	86,0	74,0	16,2	19,0	11,0
2	125,8	130,0	123,0	22,0	23,0	20,0
3	88,0	91,0	86,0	23,9	28,0	19,0
4	81,9	92,0	75,0	22,5	25,0	20,0
5	71,0	75,0	69,0	16,3	19,0	15,0
6	87,2	91,0	84,0	23,0	26,0	20,0
7	101,8	110,0	94,0	26,3	29,0	23,0
8	98,0	108,0	94,0	23,1	24,0	23,0
9	98,9	102,0	97,0	25,1	28,0	21,0
10	115,7	119,0	112,0	18,5	22,0	13,0

FCmed—frequência cardíaca média; FCmax—frequência cardíaca máxima; FCmin—frequência cardíaca mínima; FRmed—frequência respiratória média; FRmax—frequência respiratória máxima; FRmin—frequência respiratória mínima; BPM—batimentos por minuto; RPM—respirações por minuto.

Tabela C.4: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 2 de todos os participantes.

<i>Participante</i>	<i>FCmed</i> (BPM)	<i>FCmax</i> (BPM)	<i>FCmin</i> (BPM)	<i>FRmed</i> (RPM)	<i>FRmax</i> (RPM)	<i>FRmin</i> (RPM)
1	95,9	106,0	82,0	14,8	18,0	12,0
2	128,9	139,0	123,0	23,0	25,0	20,0
3	85,0	92,0	81,0	25,0	28,0	22,0
4	96,0	117,0	67,0	24,3	31,0	16,0
5	82,0	97,0	77,0	19,7	23,0	14,0
6	85,2	108,0	71,0	25,0	28,0	20,0
7	106,2	113,0	100,0	23,8	26,0	21,0
8	98,6	107,0	93,0	22,6	25,0	16,0
9	107,4	115,0	98,0	26,0	31,0	22,0
10	111,7	123,0	100,0	24,3	32,0	19,0

FCmed—frequência cardíaca média; FCmax—frequência cardíaca máxima; FCmin—frequência cardíaca mínima;
FRmed—frequência respiratória média; FRmax—frequência respiratória máxima; FRmin—frequência respiratória
mínima; BPM—batimentos por minuto; RPM—respirações por minuto.

Tabela C.5: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 3 de todos os participantes.

<i>Participante</i>	<i>FCmed</i> (BPM)	<i>FCmax</i> (BPM)	<i>FCmin</i> (BPM)	<i>FRmed</i> (RPM)	<i>FRmax</i> (RPM)	<i>FRmin</i> (RPM)
1	92,7	104,0	79,0	14,7	19,0	11,0
2	134,0	144,0	125,0	23,1	26,0	21,0
3	84,9	89,0	81,0	25,1	30,0	22,0
4	94,4	128,0	72,0	18,3	25,0	12,0
5	80,9	95,0	74,0	19,9	23,0	18,0
6	90,5	98,0	83,0	24,4	26,0	23,0
7	102,8	106,0	100,0	21,9	25,0	19,0
8	94,6	97,0	91,0	23,3	26,0	21,0
9	102,3	108,0	99,0	24,7	30,0	19,0
10	113,8	121,0	109,0	22,7	32,0	14,0

FCmed—frequência cardíaca média; FCmax—frequência cardíaca máxima; FCmin—frequência cardíaca mínima;
FRmed—frequência respiratória média; FRmax—frequência respiratória máxima; FRmin—frequência respiratória
mínima; BPM—batimentos por minuto; RPM—respirações por minuto.

Tabela C.6: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 4 de todos os participantes.

<i>Participante</i>	<i>FCmed</i> (BPM)	<i>FCmax</i> (BPM)	<i>FCmin</i> (BPM)	<i>FRmed</i> (RPM)	<i>FRmax</i> (RPM)	<i>FRmin</i> (RPM)
1	79,6	88,0	70,0	15,6	20,0	13,0
2	129,2	134,0	124,0	20,7	22,0	19,0
3	84,2	93,0	76,0	20,3	24,0	17,0
4	66,0	96,0	49,0	15,7	20,0	11,0
5	72,6	80,0	61,0	20,0	27,0	15,0
6	85,7	104,0	68,0	23,5	26,0	20,0
7	100,4	104,0	96,0	21,8	25,0	19,0
8	93,6	99,0	89,0	21,3	22,0	21,0
9	104,5	114,0	97,0	23,3	27,0	20,0
10	111,7	116,0	108,0	24,6	28,0	22,0

FCmed—frequência cardíaca média; FCmax—frequência cardíaca máxima; FCmin—frequência cardíaca mínima; FRmed—frequência respiratória média; FRmax—frequência respiratória máxima; FRmin—frequência respiratória mínima; BPM—batimentos por minuto; RPM—respirações por minuto.

Tabela C.7: Dados da frequência cardíaca e respiratória da atividade 5 de todos os participantes.

<i>Participante</i>	<i>FCmed</i> (BPM)	<i>FCmax</i> (BPM)	<i>FCmin</i> (BPM)	<i>FRmed</i> (RPM)	<i>FRmax</i> (RPM)	<i>FRmin</i> (RPM)
1	93,7	102,0	84,0	10,9	15,0	9,0
2	130,3	139,0	125,0	22,8	25,0	19,0
3	86,3	97,0	80,0	23,4	26,0	21,0
4	82,9	100,0	60,0	13,0	20,0	7,0
5	74,1	79,0	71,0	21,5	25,0	18,0
6	92,8	110,0	81,0	25,1	28,0	21,0
7	104,6	112,0	100,0	22,8	26,0	17,0
8	96,6	101,0	93,0	20,9	25,0	17,0
9	90,1	122,0	66,0	25,5	28,0	20,0
10	97,4	107,0	92,0	21,8	27,0	19,0

FCmed—frequência cardíaca média; FCmax—frequência cardíaca máxima; FCmin—frequência cardíaca mínima; FRmed—frequência respiratória média; FRmax—frequência respiratória máxima; FRmin—frequência respiratória mínima; BPM—batimentos por minuto; RPM—respirações por minuto.

C.8 Dados cinemáticos

Na Tabela C.8 encontram-se os parâmetros angulares calculados a partir da média dos dados de todos os participantes, enquanto na Figura C.9 à Figura C.13 são apresentados os gráficos

das amplitudes de movimento ao longo do tempo para todas as atividades, articulações e eixos, com base nos resultados agregados de todos os participantes.

Tabela C.8: Parâmetros cinemáticos do movimento de todos os participantes para as atividades 2 a 5.

	Articulação (eixo)	T_{min} (%)	$\hat{A}_{min}$ (°) $\pm$ DP	T_{max} (%)	$\hat{A}_{max}$ (°) $\pm$ DP	ROM (°) $\pm$ DP
A2	AD (X)	2,4	-0,1 $\pm$ 0,4	57,6	55,4 $\pm$ 24,4	55,5 $\pm$ 23,4
	AD (Y)	5,9	-0,1 $\pm$ 0,3	87,1	18,1 $\pm$ 9,8	18,2 $\pm$ 23,4
	JD (X)	2,4	0,0 $\pm$ 0,2	57,4	67,4 $\pm$ 28,7	67,4 $\pm$ 32,2
A3	AE (X)	18,9	0,0 $\pm$ 0,4	89,5	55,3 $\pm$ 19,1	55,3 $\pm$ 22,8
	AE (Y)	14,8	-0,1 $\pm$ 0,3	43,4	20,4 $\pm$ 10,1	20,5 $\pm$ 22,8
	JE (X)	15,6	-0,1 $\pm$ 0,5	89,5	69,0 $\pm$ 23,0	69,1 $\pm$ 33,4
A4	OD (Y)	99,1	-4,7 $\pm$ 13,2	23,2	22,4 $\pm$ 8,8	27,0 $\pm$ 14,5
A5	AD (X)	7,9	0,0 $\pm$ 0,2	26,5	44,6 $\pm$ 13,3	44,6 $\pm$ 21,8
	AE (X)	0,9	0,0 $\pm$ 0,0	58,0	45,6 $\pm$ 15,2	45,6 $\pm$ 21,9
	JD (X)	4,0	-0,2 $\pm$ 0,3	73,1	49,4 $\pm$ 13,2	49,6 $\pm$ 23,8
	JE (X)	5,0	-0,1 $\pm$ 0,4	73,0	50,2 $\pm$ 13,6	50,3 $\pm$ 24,4
	TD (X)	3,9	-0,1 $\pm$ 0,4	73,0	16,8 $\pm$ 5,9	16,9 $\pm$ 8,0
	TE (X)	96,9	-0,3 $\pm$ 2,0	73,0	15,8 $\pm$ 5,6	16,1 $\pm$ 7,6

T_{min} —tempo mínimo; $\hat{A}_{min}$ — ângulo mínimo; T_{max} —tempo máximo; $\hat{A}_{max}$ —ângulo máximo; ROM—*Range of Motion*; DP—desvio padrão; AD—anca direita; JD—joelho direito; AE—anca esquerda; JE—joelho esquerdo; OD—ombro direito; TD—tornozelo direito; TE—tornozelo esquerdo; DP—desvio padrão.

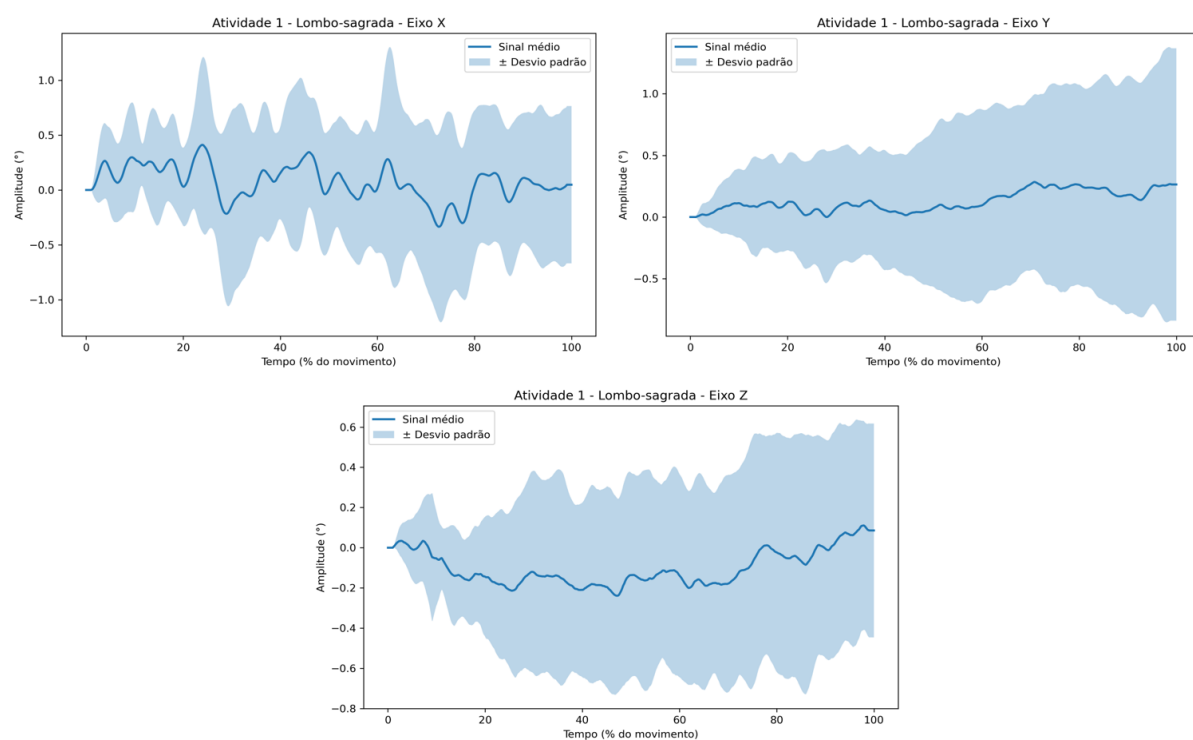


Figura C.9: Gráficos dos ângulos do movimento da atividade 1 da articulação lombo-sagrada.

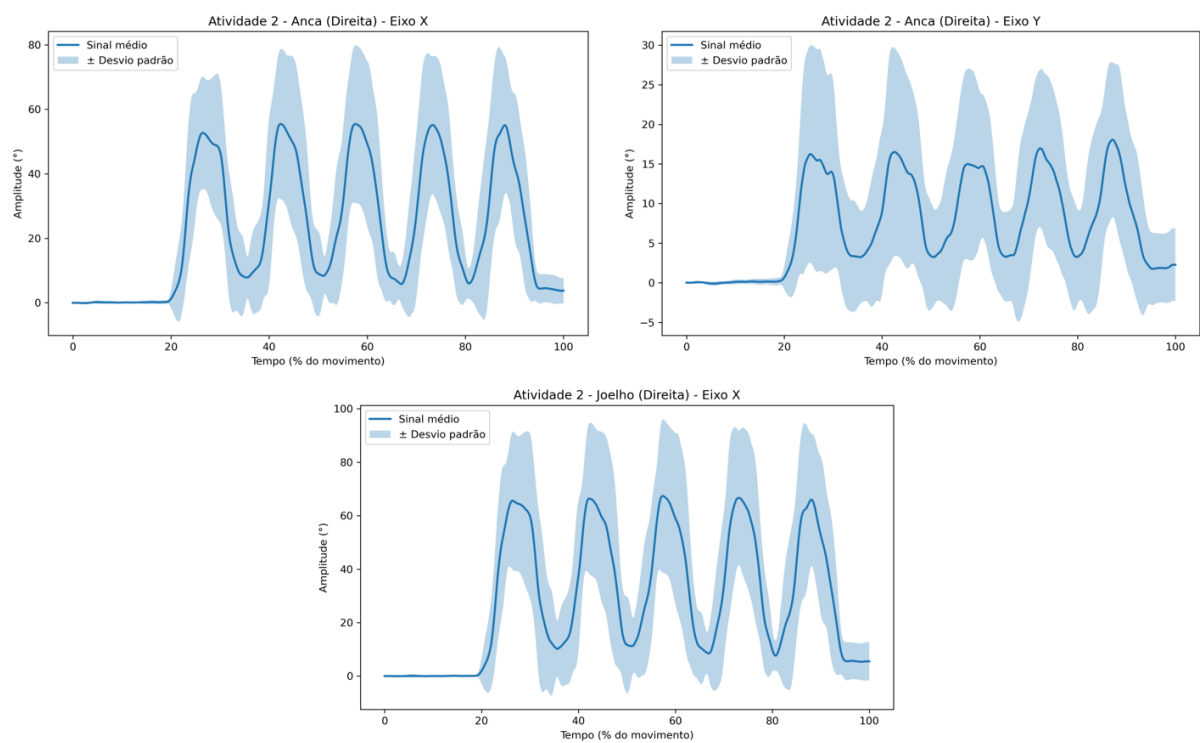


Figura C.10: Gráficos dos ângulos do movimento da atividade 2 das articulações da anca e do joelho.

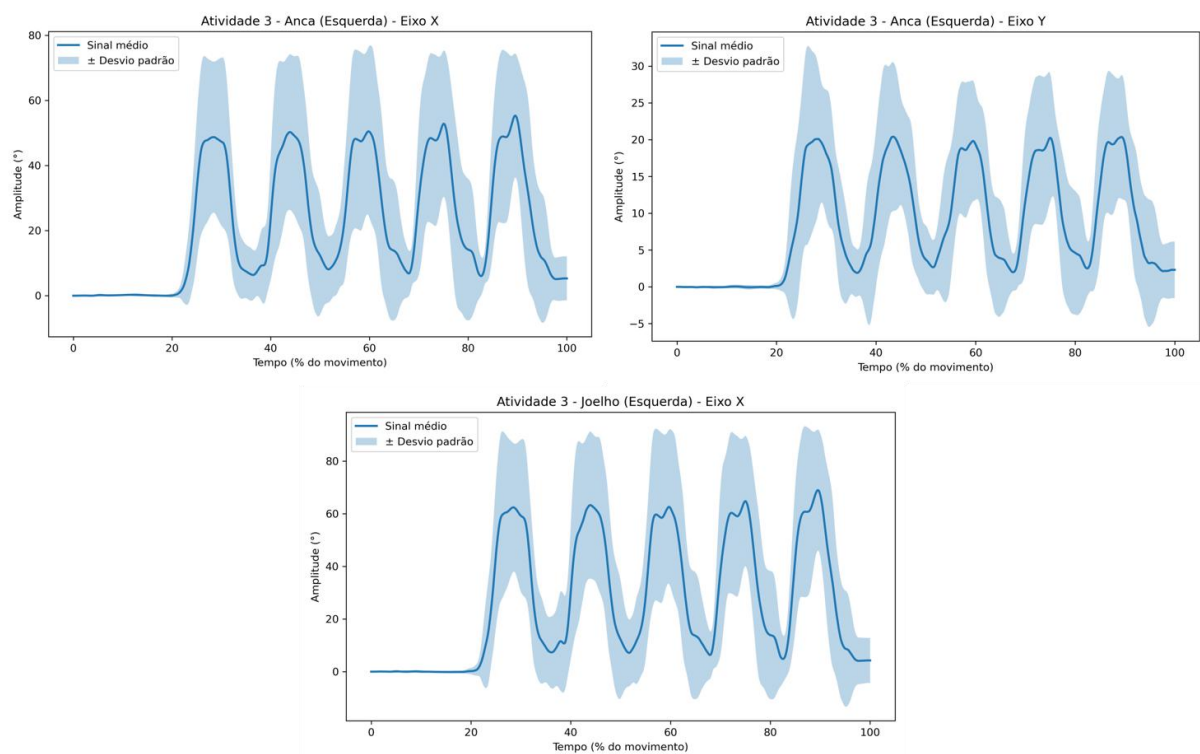


Figura C.11: Gráficos dos ângulos do movimento da atividade 3 das articulações da anca e do joelho.

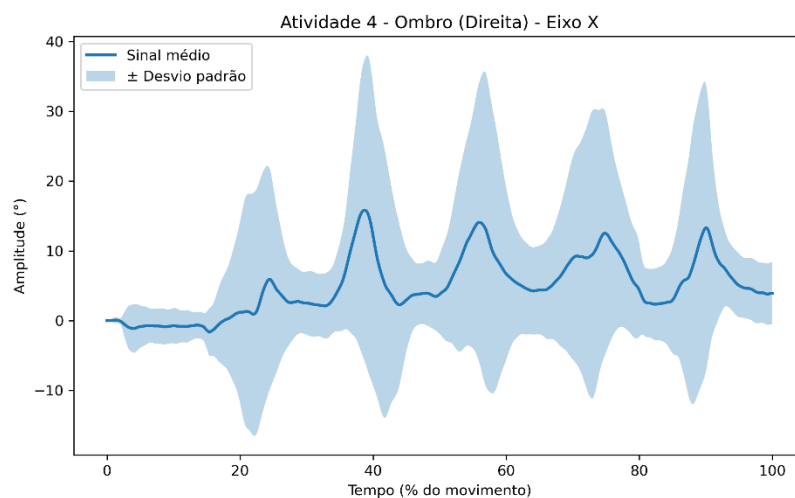


Figura C.12: Gráfico dos ângulos do movimento da atividade 4 da articulação do ombro.

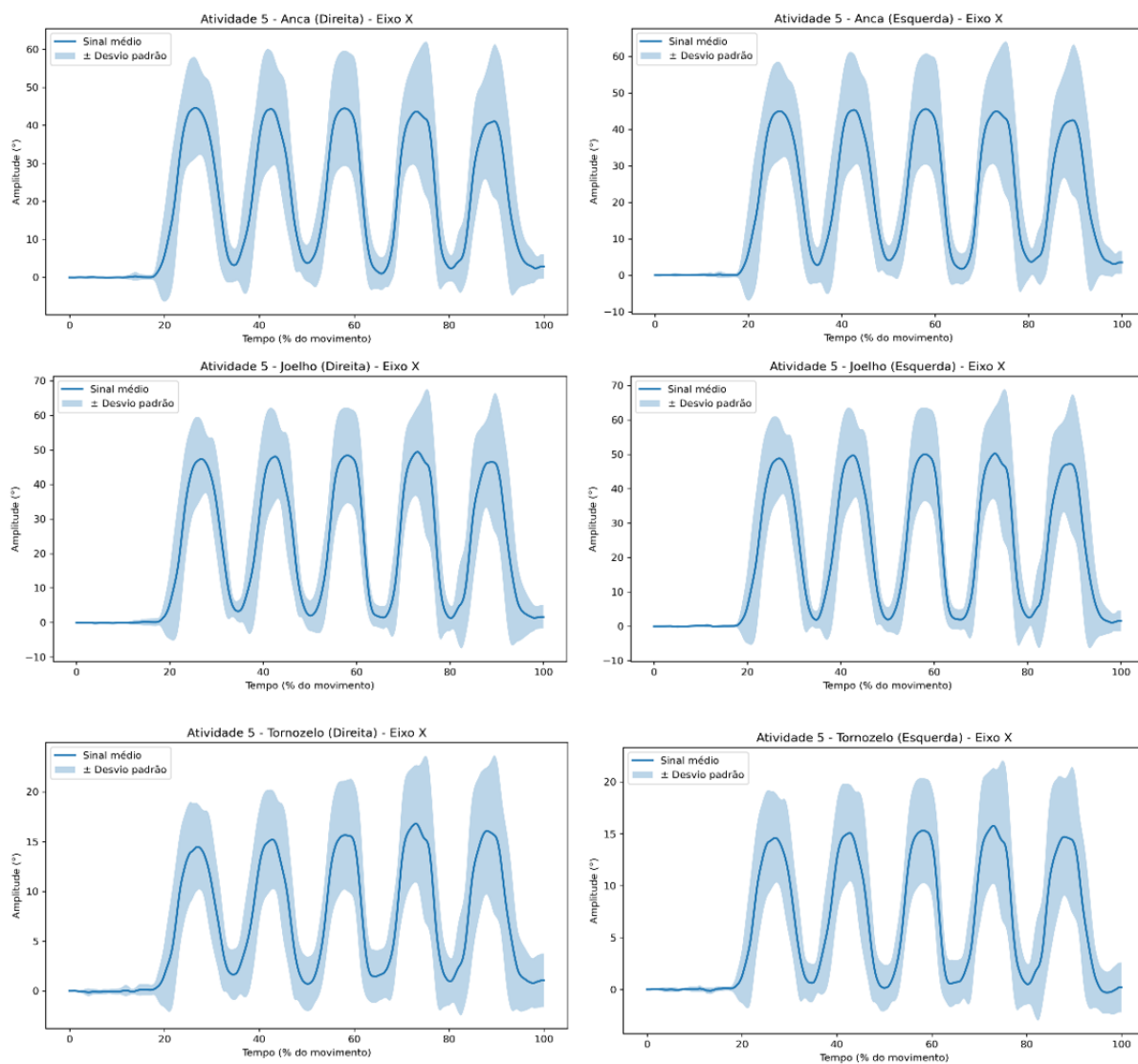


Figura C.13: Gráficos dos ângulos do movimento da atividade 5 das articulações da anca, joelho e tornozelo.



2025

MARIANA SILVA

TeleRehaSync: plataforma integradora de dados de dispositivos wearable e sistemas optoeletrónicos