MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

CRIAÇÃO DE ALGORITMOS PARA ANÁLISE ERGONÓMICA EM TEMPO-REAL

Liliana dos Santos David

Orientador: Professora Doutora Joana Cristina Cardoso Guedes ……..(FEUP)
Coorientador: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista ……..(FEUP)
Arguente: Professor Doutor Antonio José Carpio de Los Pinos …….(UPM)
Presidente do Júri: Professor Doutor Mário Vaz ……..(FEUP)

_____ 2024



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt **ISN:** 3599*654

Telefone: +351 22 508 14 00

URL: http://www.fe.up.pt **Correio Electrónico:** feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

À professora Joana Guedes, por todo o suporte e orientação prestados não só na presente dissertação, mas em todo o meu percurso no mestrado e por toda a força e capacidade de resiliência que me transmitiu ao longo destes dois anos.

Ao professor João Santos Batista, por todo o apoio demonstrado, tendo-se revelado, tal como a professora Joana Guedes, um pilar na minha evolução profissional e enquanto ser humano.

À minha família, pela preocupação, pelo incentivo e pela presença nos momentos mais sensíveis desta jornada.

Aos meus amigos e aos colegas que se tornaram amigos, pela paciência, pela amizade, pela palavra amiga no momento certo, pela compreensão e por todo o apoio que me deram.

A toda a equipa de docentes do MESHO, pelo comprometimento para com os alunos, pela partilha de conhecimento e pela saudade que deixam.

Em especial aos meus pais e ao meu namorado, pela capacidade de me fazerem sentir novamente confiante e impulsionadora, a cada vez que as minhas dúvidas existênciais teimam em surgir.

DESTAQUES

1. As lesões musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho (LMERT) são uma das principais problemáticas no âmbito da saúde ocupacional, representando cerca de 15% das doenças profissionais reportadas e estando diretamente associadas ao aumento do absentismo e redução da produtividade nas empresas.
2. A prova de conceito prevê uma análise ergonómica em ambiente controlado a uma tarefa de movimentação manual de cargas, baseada em dados de captura de movimento recolhidos através do sistema de captura de movimento Qualisys Motion Capture e processados pelo software Qualisys Track Manager (QTM).
3. Existe a necessidade de passar os dados aferidos no QTM para o software MATLAB e processá-los, de forma a aferir a totalidade das variáveis necessárias á realização de uma análise ergonómica de acordo com a ISO 11228-1:2003.
4. Uma análise ergonómica baseada em sistemas de captura de movimento aliados a softwares de processamento de dados, permite a obtenção de resultados mais rigorosos e precisos que irão ser cruciais na mitigação dos riscos associados às LMERT.

HIGHLIGHTS

1. Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) are one of the main issues in the field of occupational health, representing about 15% of reported occupational diseases and being directly associated with increased absenteeism and reduced productivity in companies.
2. The proof of concept involves an ergonomic analysis in a controlled environment of a manual load handling task, based on motion capture data collected through the Qualisys Motion Capture system and processed by the Qualisys Track Manager (QTM) software.
3. There is a need to transfer the data measured in QTM to MATLAB software and process it in order to ascertain all the variables necessary for conducting an ergonomic analysis according to ISO 11228-1:2003.
4. An ergonomic analysis based on motion capture systems combined with data processing software allows for more accurate and precise results, which will be crucial in mitigating the risks associated with WMSDs.

RESUMO

As LMERT (lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho) integram uma das grandes problemáticas da saúde ocupacional, sendo que, de acordo com dados da EU-OSHA, que remontam a 2017, as LMERT apresentam uma expressão de 15% sobre o valor total a totalidade das doenças ocupacionais reportadas, além de que estão correlacionadas com o aumento do absentismo, aumento dos custos e diminuição da produtividade nas empresas. A adoção de movimentos repetitivos, de posturas corporais incorretas e de movimentação de cargas, são considerados os principais fatores de risco associado ao desenvolvimento das LMERT e, de forma a mitigar o seu surgimento, deverão ser desenvolvidas nas empresas, análises ergonómicas aos postos de trabalho.

A presente dissertação visa no desenvolvimento de uma análise ergonómica baseada em dados cinemáticos, obtidos em ambiente laboratorial através de um sistema de captura de movimento em tempo real, constituido por seis câmaras e denominado de *Qualisys Motion Capture*, sendo que os dados recolhidos serão posteriormente processados quer a partir do software Matlab, quer diretamente do software *Qualisys Track Manager* (QTM), sendo que este último integra o sistema de captura de movimento, com vista á aplicação dos referenciais normativos existentes no âmbito da ergonomia.

Desta forma, o presente projeto promete contribuir para a prevenção de lesões musculoesqueléticas através de uma avaliação de riscos ergonómicos mais precisa e fiável, com vista à criação de ambientes de trabalho mais saudáveis e consequentemente mais produtivos.

Palavras-chave: LMERT, análise ergonómica, captura de movimento, câmara.

ABSTRACT

WMSD (Work-related Musculoskeletal Disorders) constitute one of the major issues in occupational health. According to EU-OSHA data from 2017, LMERT accounts for 15% of the total reported occupational diseases. Furthermore, they are correlated with increased absenteeism, rising costs, and decreased productivity in companies. The adoption of repetitive movements, incorrect body postures, and manual handling of loads are considered the main risk factors associated with the development of LMERT and, to mitigate their occurrence, ergonomic analyses of workstations should be carried out in companies.

The present dissertation aims to develop an ergonomic analysis based on kinematic data, obtained in a laboratory environment through a real-time motion capture system consisting of six cameras, named Qualisys Motion Capture. The collected data will be processed either using Matlab software or directly from the Qualisys Track Manager (QTM) software, with the latter integrating the motion capture system, with a view to applying existing normative references in the field of ergonomics.

Thus, this project promises to contribute to the prevention of musculoskeletal injuries through a more accurate and reliable ergonomic risk assessment, aiming to create healthier and consequently more productive work environments.

Keywords: WMSD, ergonomic analysis, motion capture, camera.

LISTA DE SIGLAS

CE – Comunidade Europeia

CEE – Comunidade Económica Europeia

EU-OSHA – Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (*European Agency for Safety and Health at Work*)

EWCS - Inquérito Europeu sobre as Condições de Trabalho (*European Working Conditions Survey)*

FEUP – Faculdade de Engenharia do Porto

IEA – Associação Internacional de Ergonomia (*International Ergonomics Association)*

IOR – Organização Internacional para Reabilitação *(International Organization for Rehabilitation)*

IR – Radiação Infravermelha (*Infrared radiation*)

ISO – Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Santardization*)

LI – Índice de elevação (*Lifting Index*)

LME – Lesões musculoesqueléticas

LMERT – Lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho

MoCap – Captura de movimento *(Motion capture)*

NIOSH – Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional *(National Institute for Occupational Safety and Health)*

OIT – Organização Internacional do Trabalho

OMS – Organização Mundial de Saúde

PoE – *Power over Ethernet*

REBA – Avaliação rápida de corpo inteiro *(Rapid Entire Body Assessment)*

RGB-D - Vermelho *(Red)*, Verde *(Green)*, Azul *(Blue)* - Decimal

RGPD – Regime Geral de Proteção de Dados

RULA – Avaliação rápida de membros superiores *(Rapid Upper Limb Assessment)*

QTM - *Qualisys Track Manager*

UE – União Europeia

ÍNDICE

1 Introdução 1
1.1 Organização dos capítulos da dissertação 3
2 Revisão Técnica e Científica 5
2.1 Conceitos básicos de ordem tecnológica 5
2.1.1 Ergonomia 5
2.1.2 Lesões musculoesqueléticas 6
2.1.3 Fatores de risco de LMERT 7
2.1.4 Avaliação ergonómica 8
2.1.5 Sistemas MoCap 9
2.1.6 Protocolo IOR 9
2.2 Enquadramento legal e normativo 10
2.3 Revisão bibliográfica 11
2.3.1 Critérios de pesquisa 12
2.3.2 Critérios de elegibilidade 12
2.3.3 Análise e discussão dos resultados 13
2.4 Objetivos da dissertação 15
3 Materiais e métodos 16
3.1 Caraterização do ensaio 17
3.2 Sistema Qualisys Motion Capture 17
3.2.1 Instalação do sistema Qualisys Motion Capture 17
3.2.2 Calibração 3D do sistema Qualisys Motion Capture 19
3.2.3 Utilização de marcadores reflexivos 20
3.3 Análise biomecânica 21
3.3.1 Análise biomecânica estática 21
3.4 Análise biomecânica dinâmica 22
3.4.1 Exportação de dados 22
3.5 Análise ergonómica segundo o sistema normativo 23
3.5.1 Norma ISO 11228-1:2003 24
4 Resultados 29
4.1 Instalação do sistema Qualisys Motion Capture 29

4.2 Especificações das câmaras 29
4.2.1 Calibração do sistema 31
4.2.2 Marcadores reflexivos utilizados 32
4.3 Análise biomecânica estática 34
4.4 Análise biomecânica dinâmica 35
4.5 Análise ergonómica segundo a ISO 11228-1:2003 37
4.5.1 Variáveis de cálculo da massa recomendada 38
4.5.2 Cálculo da massa recomendada 46
4.5.3 Índice de elevação (LI) 46
5 DISCUSSÃO 48
5.1 Limitações 50
5.1.1 Limitações de Estudo 50
5.1.2 Limitações do Sistema 50
6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS 52
6.1 Conclusões 52
6.2 Perspectivas Futuras 52
7 REFERÊNCIAS 54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Principais doenças ocupacionais (EU-OSHA, 2017). 2

Figura 2 - Fatores de risco de desenvolvimento de LME (EU-OSHA, 2019). 2

Figura 3 - Número de dias de ausência nos últimos 12 meses, devido a um problema de saúde (EWCS:2015). 3

Figura 4 - Principais tipos de ergonomia. 6

Figura 5 - Etapas de avaliação ergonómica. 9

Figura 6 - Faseamento da revisão bibliográfica, segundo o método *Prisma Statement 2009*. 13

Figura 7 - Metodologia geral da dissertação. 16

Figura 8 - Imagem ilustrativa do sistema de captura de movimento da Qualisys. 18

Figura 9 - Kit de calibração de fibra de carbono. 19

Figura 10 - Caraterísticas da estrutura em L. 20

Figura 11 - Exemplos de marcadores reflexivos da Qualisys. 20

Figura 12 - Posição anatómica neutra. 21

Figura 13 - Caminho de seleção para exportação do ficheiro em formato .mat. 23

Figura 14 - Tabela A.1. da ISO 11228-1:2003, relativa aos valores de fM. 26

Figura 15 - Esquema da disposição especial das câmaras. 29

Figura 16 - Câmara Miqus M3. 30

Figura 17 - Anel de leds para deteção do movimento. 30

Figura 18 - Momento de calibração durante o ensaio. 31

Figura 19 - Vista do momento da calibração no QTM. 31

Figura 20 - Volume de rastremaento no QTM, após calibração do sistema. 31

Figura 21 - Marcadores utilizados no ensaio experimental. 32

Figura 22 - Captura dos marcadores por parte do sistema de câmaras instalado. 32

Figura 23 - Pontos anatómicos de fixação dos marcadores. 33

Figura 24 - Vista da posição neutra em QTM. 35

Figura 25 - Instante de movimento sem carga. 35

Figura 26 - Instante de movimento de pega da carga. 36

Figura 27 - Instante de movimentação manual de carga. 36

Figura 28 - Instante de pouso de carga. 37

Figura 29 – Marcadores representativos da distância horizontal do lado esquerdo do corpo, em QTM. 39

Figura 30 – Marcadores representativos da distância horizontal do lado direito do corpo, em QTM. 39
Figura 31 - Identificação do frame e do marcador representativo da altura de elevação da carga. 40
Figura 32 - Identificação do frame em que foi completada a manobra de elevação da carga. 41
Figura 33 - Identificação dos marcadores representativos da localização vertical da pega, em QTM. 42
Figura 34 – Valor do multiplicador fM, de acordo com a tabela A.1 da ISO 11228-1:2003. 43
Figura 35 - Exemplo da caixa utilizada durante o ensaio. 44
Figura 36 - Parcela de código em MATLAB, gerado para aferir os ângulos de rotação do tronco. 45
Figura 37 – Excerto do código em Matlab, gerado para o calculo da massa recomendada e do índice de elevação. 47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de risco associados às LMERT. 8

Tabela 2 - Grupos de palavras-chave. 11

Tabela 3 - Tabela A.2 da ISO 11228-1:2003, relativa ao multiplicador CM 26

Tabela 4 - Tabela A.1 da ISO 12295:2014, relativa às massas de referência. 27

Tabela 5 - Interpretação dos valores de LI definidos na ISO 12295:2014. 27

Tabela 6 - Caraterísticas da câmara Miqus M3. 30

Tabela 7 - Identificação e posicionamento dos marcadores. 33

Tabela 8 – Massa de referência segundo a Tabela A.1 da ISO 12295:2014. 38

Tabela 9 – Avaliaçã da qualidade da pega, de acordo com a Tabela A.2 da ISO 11228-1:2003. 44

Tabela 10 - Valor dos multiplicadores da equação da massa recomendada (mR). 46

Tabela 11. Resumo dos dados dos artigos incluídos (n=7). 1

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação relativa à massa recomendada (mR) que pode ser levantada em condições de segurança. 24

Equação 2 - Cálculo do multiplicador hM. 24

Equação 3 - Cálculo do multiplicador vM. 25

Equação 4 - Cálculo do multiplicador dM. 25

Equação 5 - Cálculo do multiplicador αM. 25

Equação 6 – Índice de elevação. 27

Equação 7 - Cálculo da distância horizontal, em metros. 40

Equação 8 – Cálculo da altura de elevação, em metros 41

Equação 9 – Cálculo da localização vertical, em metros. 42

Equação 10 - Cálculo da frequência de levantamento, em frequências por minuto. 42

1 INTRODUÇÃO

Considerando a vida tal e qual a conhecemos, afirmar que cerca de metade do nosso tempo é dedicado ao exercício de determinada atividade laboral, é uma verdade que nos acompanha.

A garantia das condições de trabalho é ainda vista por algumas pessoas como um luxo, um suplemento, algo que não lhes é devido e pelo qual não podem protestar, sobre pena de sofrerem represálias por parte da entidade patronal e ficarem sem o seu sustento. E como se já não bastasse, esta ideologia muita das vezes é passada de geração em geração, criando uma linha de pensamento utópica, passiva e contínua, que promove a dispersão do foco que prevê o trabalhador como o principal ativo de uma organização. De entre todas as problemáticas existentes de foro laboral, a nível ergonómico destacam-se as LMERT. Estas lesões integram uma das grandes problemáticas da saúde ocupacional, sendo que, de acordo com dados da EU-OSHA, as LMERT apresentam uma expressão de 15% sobre o valor total a totalidade das doenças ocupacionais reportadas, além de que estão correlacionadas com o aumento do absentismo, aumento dos custos s e diminuição da produtividade nas empresas. De acordo com as primeiras estimativas globais divulgadas em 2021 pela OMS e OIT, as lesões ocupacionais foram a causa de cerca de 360.000 mortes de trabalhadores, entre os anos 2000-2016.

A adoção de movimentos repetitivos, de posturas corporais incorretas e de movimentação de cargas, são considerados os principais fatores de risco associado ao desenvolvimento das LMERT e, de forma a mitigar o seu surgimento, deverão ser desenvolvidas nas empresas, análises ergonómicas aos postos de trabalho. Desta forma, o tema que dá corpo ao projeto de dissertação recai no desenvolvimento de uma análise ergonómica baseada em dados recolhidos a partir de um sistema de captura de movimento em tempo-real (Qualisys Motion Capture) e processados diretamente a partir do software que integra este sistema (QTM) e a partir do software Matlab, com vista á análise dos mesmos segundo as normas de ergonomia.

A presente dissertação baseia-se numa prova de conceito cujo principal objetivo se prende com a viabilidade da aplicação dos referenciais normativos diretamente aos dados recolhidos em QTM e de que forma podemos levar a cabo uma análise ergonómica, considerando o sistema de captura de movimento em questão.

O ensaio que dá corpo a esta prova de conceito irá realizar-se em ambiente laboratorial, através da utilização de 6 câmaras de captação de movimento com recurso a marcadores e prevê a simulação de uma tarefa de movimentação manual de cargas.

O grande foco desta dissertação depreende a contribuição para a prevenção de lesões musculoesqueléticas através de uma avaliação de riscos ergonómicos mais precisa, com recurso a tecnologia, visando na criação de ambientes de trabalho mais saudáveis e produtivos.

De acordo com a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA), as LME (lesões musculosqueléticas) fazem parte das doenças mais comummente relacionadas com o trabalho (figura 1[1]) e como tal, combatê-las contribui diretamente para a melhoria da saúde dos trabalhadores bem como para a

[1] https://osha.europa.eu/pt/publications/work-related-musculoskeletal-disorders-msds-statistics

redução de custos de uma empresa. Não esquecendo que, trabalhadores mais saudáveis são mais felizes e por acréscimo mais produtivos, alavancando desta forma a faturação da empresa.



Figura 1 - Principais doenças ocupacionais (EU-OSHA, 2017).

No ano 2019, a EU-OSHA previa como principais fatores de risco para o desenvolvimento das LME, a exposição por parte dos trabalhadores a ambientes quentes, frios e com indisponibilidade de água, ao levantamento ou movimentação de cargas pesadas, à prática de movimentos repetitivos à má postura adotada e a longas jornadas na posição sentada, tal como é possivel constatar pela figura 2[2].

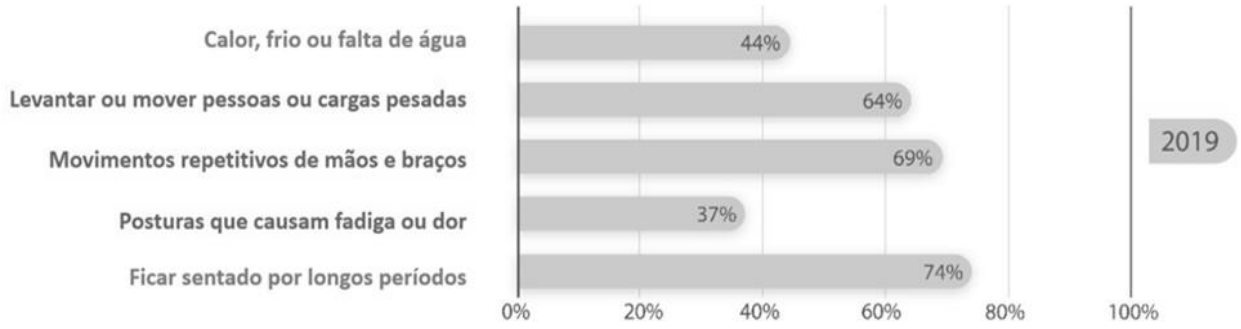


Figura 2 - Fatores de risco de desenvolvimento de LME (EU-OSHA, 2019).

No que toca a dados estatísticos do ano 2020, segundo a EUROSTAT, podemos considerar que, de uma forma geral, dentro dos principais fatores de risco que os trabalhadores identificam no seu local de trabalho, cerca de 60% estão diretamente relacionados com o desenvolvimento de LME, nomeadamente:

- Adoção de posturas dolorosas e cansativas (26%);
- Movimentação de cargas pesadas (18%);
- Movimento repetitivo da mão ou braço (16%).

[2] https://osha.europa.eu/pt/publications/work-related-musculoskeletal-disorders-msds-statistics

Com base ainda em informação recolhida de uma publicação da EU-OSHA (Campanha "Empregos Saudáveis" 2020-2022), que se fundamenta parcialmente no EWCS:2015 (European Working Conditions Survey) da Eurofound, podemos denotar a incidência de um maior absentismo sobre trabalhadores que desenvolvem LME, tal como é possível observar na figura 3[3].

Desta forma, é seguro dizer que a prevenção das LMERT é um passo fundamental no desenvolvimento sustentável de uma empresa, capaz de alavancar a sua produtividade, aumentar a sua margem de rendimento e promover ambientes de trabalho mais saudáveis e competitivos.

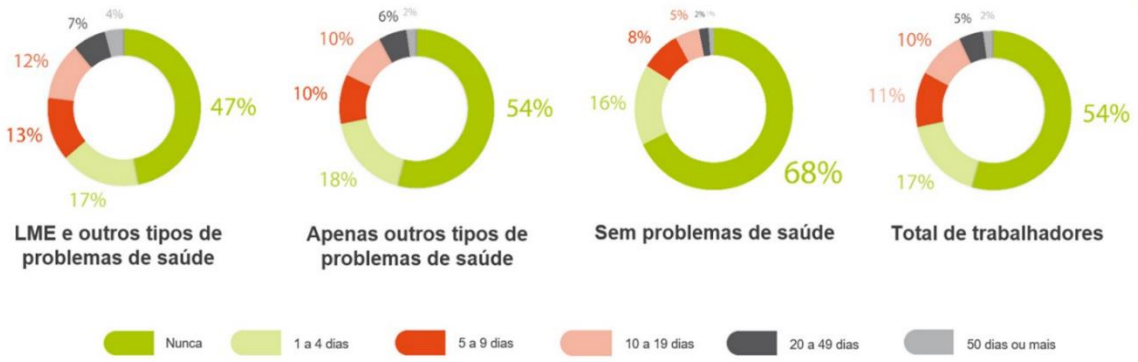


Figura 3 - Número de dias de ausência nos últimos 12 meses, devido a um problema de saúde (EWCS:2015).

1.1 Organização dos capítulos da dissertação

A dissertação está organizada de acordo com os seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Introdução

O capítulo 1 compreende a apresentação da problemática sobre a qual a dissertação está inserida, prevê os principais conteúdos a ser abordados bem como refere ainda, de forma resumida, quais os principais objetivos que se pretende atingir.

- Capítulo 2: Revisão Técnica e Científica

Neste capítulo são enunciados os principais conceitos associados ao tema da dissertação, os resultados obtidos através da realização de uma revisão bibliográfica, os referenciais legais e normativos pertinentes bem como são abordados os objetivos principais e secundários do trabalho.

- Capítulo 3: Materiais e Métodos

Este capítulo traça a metodologia a adotar ao estudo, estando aqui definidos todos os passos a tomar no desenvolver da prova de conceito, nomeadamente como é realizada a recolha e o processamento dos dados.

- Capítulo 4: Resultados

No capítulo 4 são expressos todos os dados recolhidos durante as diferentes fases do estudo, com vista á realização da análise ergonómica.

[3] https://osha.europa.eu/pt/publications/work-related-musculoskeletal-disorders-msds-statistics

- Capítulo 5: Discussão

Neste capítulo são discutidos de uma forma concisa, os resultados obtidos no capítulo 4.

- Capítulo 6: Conclusões e Perspetivas Futuras

O capítulo 6 pretende analisar se os objetivos a que a prova de conceito se propõe foram atingidos. São ainda mencionadas algumas recomendações para as complicações encontradas ao longo do estudo.

2 Revisão Técnica e Científica

O grande enfoque da dissertação prende-se com a redução da incidência de doenças profissionais dentro das organizações, levando à melhoria da qualidade de vida e saúde dos trabalhadores, à redução do absentismo por doença, ao aumento da produtividade, à redução de custos diretos e indiretos bem como ao aumento do comprometimento por parte dos trabalhadores, para com a missão, os valores e a visão das empresas.

Direcionando para o tema que dá corpo ao presente documento, a grande pertinência das análises ergonómicas é, de uma forma geral, a capacidade de prevenção e de correção que elas implicam, com vista, tal como já mencionado anteriormente, à prevenção de lesões, à melhoria das condições de conforto dos trabalhadores e consequentemente do desempenho, produtividade, eficiência e qualidade do trabalho realizado, lembrando que, trabalhadores saudáveis são mais felizes e como tal mais produtivos e comprometidos com o trabalho.

O trabalho realizado no âmbito da presente dissertação, visa primariamente na utilização de um sistema de recolha de dados baseado em tecnologia de captura de movimento através de um sistema combinado de câmaras e marcadores, sendo estes últimos dispostos anatomicamente de acordo com a nomenclatura IOR, que garante uma maior precisão dos mesmos e como tal, leva a que se consiga garantir uma análise ergonómica mais realista e a ser possível o traçado de planos de ação mais eficazes.

Após a obtenção desses dados, a ideologia recai no traçado de um método simples e eficaz de processamento dos mesmos, com vista á realização de uma análise ergonómica baseada na ISO 11228-1:2003, uma vez que a presente prova de conceito recai numa tarefa caraterizada pela movimentação manual de cargas.

2.1 Conceitos básicos de ordem tecnológica

2.1.1 Ergonomia

A ergonomia define-se como sendo a ciência que estuda o trabalho humano, o layout das ferramentas, os objetos, bem como todo o ambiente humano em si (Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2006). Enquanto ciência, ergonomia é considerada como interdisciplinar, ou seja, combina várias áreas de conhecimento, como é a exemplo o caso da biomecânica, da psicologia e da fisiologia.

A palavra Ergonomia vê a sua origem nos termos gregos “Ergon”, que significa trabalho e “nomos” que significa regras.

Olhando para estes conceitos é possível afirmar que a Ergonomia prevê a criação (ergonomia de conceção) de todo um conjunto de procedimentos com enfoque na conceção e adaptação dos postos de trabalho e de métodos de trabalho adequados aos trabalhadores baseados no estudo da interação do ser humano com o seu posto de trabalho, com as ferramentas e equipamentos que utiliza, com o ambiente organizacional em que está inserido bem com fatores externos, ou seja, ocupações que desenvolve nos tempos livres, visando a criação de condições de saúde, de bem-estar e de melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores.

Quando há lugar a uma alteração ao posto de trabalho ou determinado procedimento, com vista à melhoria das condições de trabalho existentes, estamos perante uma situação de ergonomia de correção, ao invés de conceção de raiz dos procedimentos ou do posto de trabalho em si.

Com o objetivo principal direcionado para a prevenção de lesões, a ergonomia divide-se em quatro tipologias distintas, nomeadamente a ergonomia cognitiva, organizacional, ambiental e física, tal como representado na figura 4, sendo cada uma delas direcionada para uma área específica.



Figura 4 - Principais tipos de ergonomia.

- Ergonomia cognitiva – Estuda os processos mentais dos trabalhadores, tais como o raciocínio e a memória, durante a execução de tarefas e a sua relação emocional e mental com a atividade laboral que desempenha.
- Ergonomia organizacional – Promove a inclusão dos trabalhadores como parte ativa na tomada de decisões por parte da organização, visando, entre outros aspetos, a não sobrecarga dos trabalhadores e a melhoria das relações interpessoais.
- Ergonomia ambiental – Está direcionada para interação dos trabalhadores com os fatores ambientais a que está exposto no seu local de trabalho, tais como ao ruído, às vibrações e á temperatura.
- Ergonomia física – Correlaciona as caraterísticas individuais de cada um dos trabalhadores com as tarefas estes que realizam.

2.1.2 Lesões musculoesqueléticas

As LME agregam um conjunto de patologias de caráter inflamatório e degenerativo do sistema musculosquelético, manifestando-se através de uma sintomatologia que vai desde o surgimento de dores localizadas a situações de limitação física.

A nível de constituição, o sistema musculoesquelético agrega a parte óssea do corpo humano (esqueleto), músculos, tendões, ligamentos, articulações, cartilagem, nervos, discos vertebrais, vasos sanguíneos e tecidos moles.

De acordo com a EU-OSHA (EU-OSHA,*Factsheet* 71, 2007), quando estas LME são motivadas ou agravadas principalmente pela atividade profissional e pelos efeitos das condições imediatas em que essa atividade tem lugar, estamos perante as chamadas LMERT.

Este tipo de lesão apresenta-se como uma das problemáticas ocupacionais com maior incidência, sendo que, de acordo com um estudo realizado pela Panteia com base no sexto EWCS de 2015 e citado pela EU-OSHA, afeta cerca de três em cada cinco trabalhadores e, na maioria das situações, estamos perante lesões cumulativas resultantes de uma exposição prolongada a determinados fatores de risco.

As LMERT afetam diretamente a saúde dos trabalhadores, mas não só, além de questões laborais tais como a exemplo o aumento do absentismo e diminuição da produtividade, a nível social estes indivíduos afetados sofrem desde perturbação nas suas relações interpessoais, na sua qualidade de vida e de uma forma geral da sua visão e objetivos de futuro.

Relativamente aos sintomas, alguns dos principais são, nomeadamente:

- Dor (localizada ou irradiada);
- Fadiga;
- Dormência;
- Sensação de desconforto ou de peso;
- Fraqueza muscular.

Quanto à sua tipologia, podemos dividir as LME com base na zona estrutura anatómica afetada, (Hagberg et al.,1995), nomeadamente:

- Lesões musculares (perturbações nos músculos, ex: rutura muscular);
- Lesões vasculares (afetam os vasos sanguíneos, ex: varizes);
- Lesões nervosas (afetam a compressão de um nervo, ex: síndrome do canal cárpico);
- Lesões nas bursas (inflamações de bolsas associadas às articulações, ex: bursites)
- Lesões tendinosas (inflamações das bainhas sinoviais e/ou dos tendões, ex: tendinites).

Quanto às partes do corpo mais afetadas, as LMERT possuem maior incidência na zona cervical, nos ombros, nos membros superiores e região dorso-lombar, podendo ainda afetar os membros inferior (EU-OSHA, *Factsheet* 71, 2007).

2.1.3 Fatores de risco de LMERT

No que toca aos fatores de risco envolvimento no surgimento e desenvolvimento de LMERT, a Tabela 1 representa de uma forma geral alguns exemplos de fatores de risco mais associados a esta problemática.

Tabela 1 - Fatores de risco associados às LMERT.

Fatores de Risco associados às LMERT		
Físicos	**Psicossociais**	**Individuais**
• Temperaturas extremas • Má postura corporal • Força praticada • Movimentos repetitivos • Duração das tarefas • Posturas estáticas • Levantamento de cargas • Transporte manual de cargas • Iluminação • Exposição a vibrações • Empurrar ou puxar cargas pesadas	• Esforço mental • Ritmo de trabalho intenso • Tarefas monótonas • Acumulo de funções/tarefas • Frustração profissional • Metas de trabalho irrealistas • Problemas nas relações interpessoais	• Idade • Saúde e estilo de vida • Preparação física • Género • Caraterísticas antropométricas • Habilitação e aptidão para a tarefa a desempenhar • Experiência profissional

De acordo com a exposição dos trabalhadores a fatores de risco psicossociais poderá provocar alterações fisiologicas no corpo humano e, quando conjugados com a presenta de fatores de risco físicos, potencia o risco de desenvolvimento de LMERT (EU-OSHA, *Psychosocial Risks Infosheet*,2022).

2.1.4 Avaliação ergonómica

No âmbito da saúde ocupacional, a área da ergonomia antecipa essencialmente a prevenção de lesões, analisando um conjunto de parâmetros que vão desde as caraterísticas antropométricas dos indivíduos, até ao posto de trabalho em si, evidenciando quais os perigos, fatores de risco e riscos encontrados, com o intuito de projetar ambientes de trabalho saudáveis. A avaliação de toda esta conjuntura, acrescida do conhecimento de variáveis como a duração e a intensidade associada às tarefas e o grau de exposição por parte dos trabalhadores a fatores de risco, bem como do desenvolvimento de um plano de ação e de monitorização, dá corpo ao conceito de avaliação ergonómica.

No que toca aos métodos de análise ergonómica, podemos enunciar os seguintes:

- Sistema de Normas ISO 12295, ISO 11228-1,2,3 e ISO 11226;
- Métodos empíricos (ex: REBA, OCRA e RULA);
- Antropometria e dimensionamento do posto de trabalho;
- Biomecânica ocupacional.

A figura 5[4] expressa o fluxograma de ações e decisões adotadas numa avaliação ergonómica.

[4] https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2021/04/Apresentacao_Webinar_LNEG_Joana-Guedes_FEUP.pdf

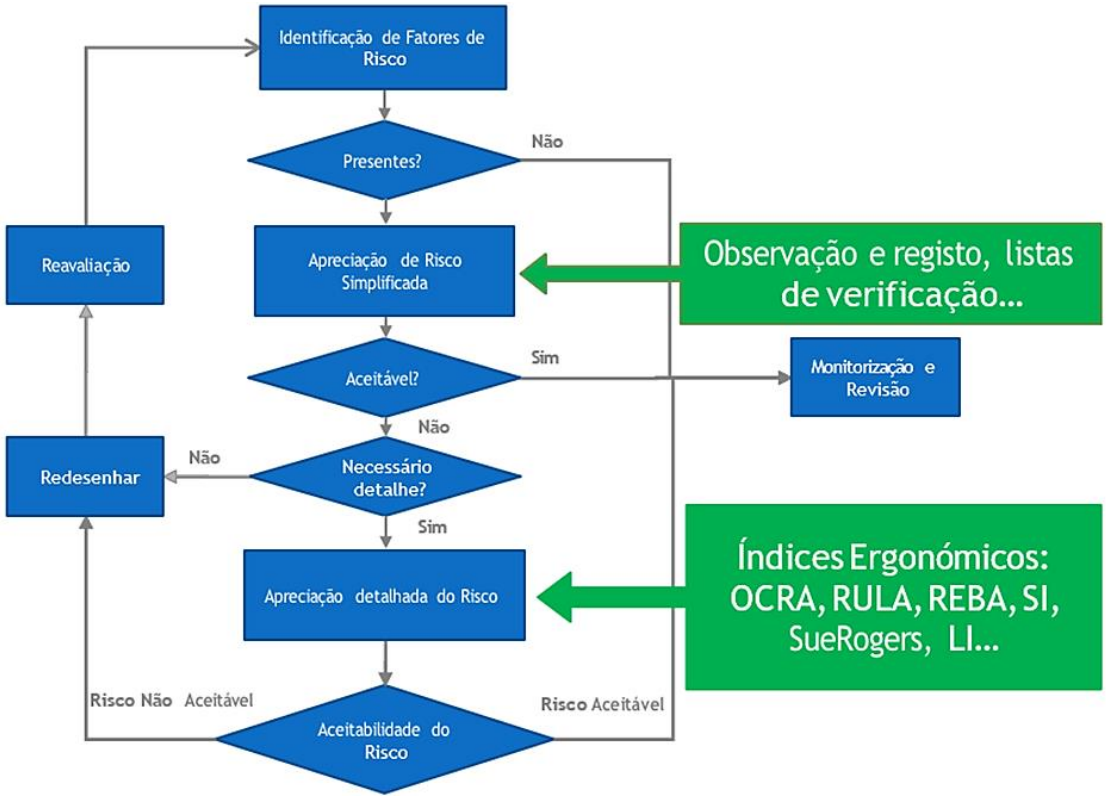


Figura 5 - Etapas de avaliação ergonómica.

2.1.5 Sistemas MoCap

Um sistema de Motion Capture, tradicionalmente designado por MoCap, baseia-se numa tecnologia de captura de movimento, utilizada comummente em pessoas.

Este tipo de sistemas é utilizado em várias áreas de atuação, que vão desde o desporto, a industria do cinema, o design industrial de equipamentos, pesquisas científicas no geral, entre outras.

A nível da constituição, podem ser enunciados de uma forma genérica, as seguintes estruturas-chave do sistema MoCap:

- Marcadores;
- Câmaras;
- Software de captura e análise.

Quanto ao funcionamento do sistema MoCap, o mesmo prevê inicialmente uma etapa de calibração, de forma a garantir que a reconstrução dos movimentos capturados seja o mais precisa possível, de seguida dá-se o memento da captura de movimento através das câmaras instaladas e por último é realizada a reconstrução em 3D dos movimentos capturados num software de captura e análise.

2.1.6 Protocolo IOR

Relativamente aos marcadores, existem várias nomenclaturas de identificação utilizadas em sistemas de captura de movimento, sendo que a IOR (*International Organization for Rehabilitation*) prevê a colocação

dos marcadores em pontos específicos do corpo humano, nomeadamente nas articulações, sendo exemplos os joelhos, nas extremidades, nomeadamente nos pés, bem como noutros pontos anatómicos de relevância, como é o caso da pélvis e da coluna vertebral.

2.2 Enquadramento legal e normativo

A legislação portuguesa e sistema normativo existentes no âmbito da ergonomia, com especial enfoque nas LMERT, prevê um conjunto de diretrizes, obrigatórias no caso de aplicação de leis e de recomendação quando falamos de normas, direcionadas para a saúde ocupacional dos trabalhadores, definindo desde estratégias de avaliação dos riscos até medidas de prevenção e de controlo dos mesmos.

Uma vez que a presente dissertação prevê a utilização de sistemas MoCap, também foram aferidos os principais diplomas legais encontrados nesse âmbito.

A legislação portuguesa e sistema normativo existentes no âmbito da ergonomia, com especial enfoque nas LMERT, compreende um conjunto de diretrizes, obrigatórias no caso de aplicação de leis e de recomendação quando falamos de normas, direcionadas para a saúde ocupacional dos trabalhadores, definindo desde estratégias de avaliação dos riscos até medidas de prevenção e de controlo dos mesmos.

Uma vez que a presente dissertação prevê a utilização de sistemas MoCap, também são mencionados os principais diplomas legais encontrados nesse âmbito.

Em Portugal, a promoção da segurança e saúde no trabalho é estabelecida pela Lei n. º102/2009, de 10 de setembro, por sua vez alterada pela Lei n. º42/2012, de 28 de agosto e pela Lei n. º3/2014, de 28 de janeiro, que transpõe a Diretiva 89/391/CEE.

Relativamente às prescrições mínimas de segurança e de saúde para os locais de trabalho, são definidas pela Lei n.º 347/1993, de 1 de outubro, que transpõe a Diretiva 89/654/CEE e, no caso das prescrições mínimas de segurança e de saúde na movimentação manual de cargas, as mesmas encontram-se previstas no Decreto-Lei n.º. 330/1993, de 25 de setembro, que transpõe a Diretiva 90/269/CEE, de 29 de maio.

O Decreto-Lei n.º 348/1993, de 1 de outubro, transpõe para ordem jurídica interna a Diretiva 89/656/CEE, de 30 de novembro, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de proteção individual no trabalho, alterada pela Diretiva (UE) 2019/1832, de 24 de outubro no que diz respeito aos anexos I, II e III.

O Decreto-Lei n.º 349/1993, de 1 de outubro, transpõe a Diretiva 90/270/CEE, de 29 de maio, referente às prescrições mínimas de segurança e de saúde respeitantes ao trabalho com equipamentos dotados de visor.

O Decreto-Lei nº 82/1999, de 16 de março, transpõe a Diretiva 95/63/CE, de 5 de dezembro, relativa com as prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de trabalho no trabalho.

O Decreto-Lei nº 46/2006, de 24 de fevereiro, transpõe a Diretiva 95/63/CE, de 5 de dezembro, relacionada com as prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações).

O Decreto-Lei nº 50/2005, de 25 de fevereiro, transpõe a Diretiva 2009/104/CE, de 16 de setembro, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de trabalho no trabalho.

A Lei nº7/2009, 12 de fevereiro, que prevê o direito à reparação de acidentes de trabalho e de doenças profissionais e que transpõe a Diretiva 2003/88/CE, de 4 de novembro, relativamente aos aspetos da organização do tempo de trabalho.

Relativamente a diretrizes ergonómicas de caráter normativo, vigora a ISO 12295:2014 que prevê um documento para aplicação de Normas Internacionais na manutenção manual (ISO 11228-1, ISO 11228-2 e ISO 11228-3) e avaliação de posições estatísticas de trabalho (ISO 11226), a ISO 11226:2000, que estabelece como deve ser desenvolvida a avaliação de posturas de trabalho estáticas, a ISO 11228-1:2003 que avalia os movimentos de elevação e transporte, a ISO 11228-2:2007 que prevê a avaliação dos movimentos de puxar e empurrar e a ISO 11228-3:2007 que avalia a movimentação de cargas em frequências elevadas.

Relacionado com as doenças ocupacionais, além da já anteriormente mencionada Lei n.º7/2009, de 12 de fevereiro, existe todo um conjunto de legislação direcionado para a sua reparação, nomeadamente o Decreto Regulamentar n.º 76/2007 de 17 de julho, que altera o Decreto Regulamentar n.º 6/2001, de 5 de maio, que aprova a lista das doenças profissionais e o respetivo índice codificado, o Decreto-Lei n.º 352/2007, de 23 de outubro que prova a nova Tabela Nacional de Incapacidades por Acidentes de Trabalho e Doenças Profissionais, revogando o Decreto-Lei n.º 341/1993, de 30 de setembro, e aprova a Tabela Indicativa para a Avaliação da Incapacidade em Direito Civil, a Lei nº 98/2009 de 4 de setembro, que regulamenta o regime de reparação de acidentes de trabalho e de doenças profissionais bem como o Decreto-Lei nº 2/1982, de 5 de janeiro que determina a obrigatoriedade da participação de todos os casos de doença profissional à Caixa Nacional de Seguros de Doenças Profissionais.

Considerando que a presente dissertação prevê a utilização de um sistema MoCap, deverá ser tida em consideração a Lei n.º 58/2019, de 08 de Agosto, relacionada com a proteção de dados pessoais.

2.3 Revisão bibliográfica

De forma a perceber toda a informação pré-existente relacionada com a temática da dissertação, foi elaborada uma revisão bibliográfica a um conjunto de artigos pertinentes, assente nas diretrizes do método Prisma Statement 2009.

Relativamente às palavras-chave adotadas, de forma a cingir a pesquisa a um conjunto de artigos relevantes para a dissertação, foi adotada a estratégia de palavras-chave definidas na Tabela 2.

Tabela 2 - Grupos de palavras-chave.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Ergonomi*	Real-time	Camera

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Biomechanic*	-	image
Bio-mechanic*	-	film

A combinação das palavras-chave *(Ergonomi* or Biomechanic* or Bio-mechanic*) and ("realtime") and (Camera or image or film)* foi utilizada nas bases de dados WebofScience e Scopus, resultando num total de dois mil e cinquenta e mil duzentos e sete artigos pertinentes á dissertação.

2.3.1 Critérios de pesquisa

Através da aplicação dos critérios de pesquisa "data", "tipo de documento", "tipo de fonte" e "língua", foram aferidos numa primeira triagem, trezentos e vinte e três artigos na base de dados Scopus e duzentos e sessenta e sete na WebofScience.

Ainda relativamente aos critérios de pesquisa utilizados nesta primeira fase, foram considerados os seguintes dados:

- Data: 2018 a 2023;
- Tipo de documento: Artigo;
- Tipo de fonte: Jornal;
- Língua: Inglesa.

Secundariamente, através da análise aos títulos e resumos dos respetivos artigos, foram somente considerados todos aqueles que evidenciassem pelo menos uma das seguintes abordagens:

- Análise ergonómica,
- Captação de imagem e movimento;
- Análise em tempo real;
- Aplicação ou desenvolvimento de algoritmos.

Desta etapa resultaram noventa e sete artigos que, após aplicação de novo critério de exclusão, baseado em evidências de recurso a câmara, culminaram em dezanove artigos a considerar.

2.3.2 Critérios de elegibilidade

Numa última análise, foram sete os artigos considerados no âmbito da presente dissertação, resultantes da aplicação dos seguintes critérios de elegibilidade:

- Análise ergonómica em tempo real utilizando sistema de câmaras e trajes inerciais;
- Análise ergonómica em tempo real com sistema de câmaras e marcadores reflexivos;
- Análise ergonómica com recurso a câmaras e criação de algoritmo.

A figura 6 representa o fluxograma da revisão bibliográfica levada a cabo em prol da presente dissertação.

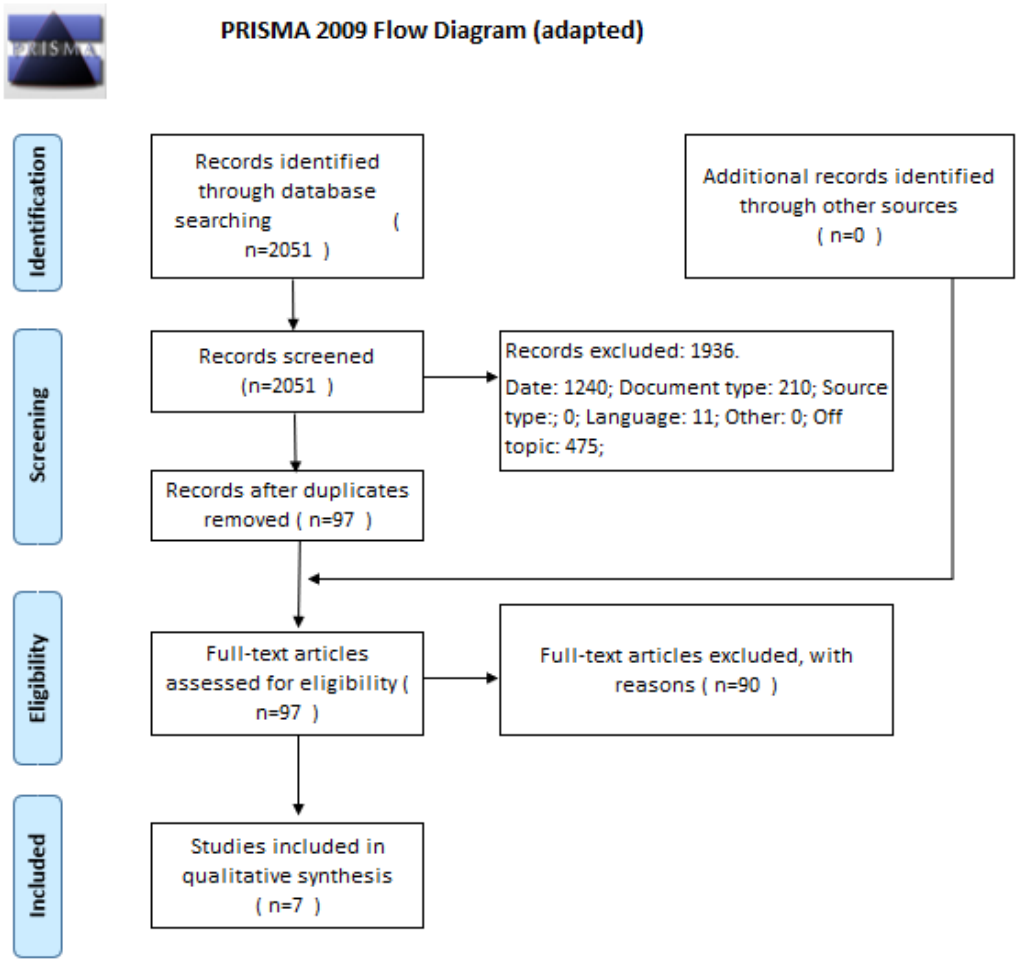


Figura 6 - Faseamento da revisão bibliográfica, segundo o método *Prisma Statement 2009*.

2.3.3 Análise e discussão dos resultados

A informação pertinente contida nos artigos selecionados no processo revisão bibliográfica encontra-se resumida no Apêndice I, Tabela 11 do presente documento.

Ao nível do campo de aplicação, a revisão bibliográfica incide na área da Ergonomia, nomeadamente na análise do movimento com vista ao desenvolvimento de uma análise ergonómica (Rodrigues et al., 2022). No que toca às atividades laborais exercidas pelos indivíduos alvo de análise, é abordada a área da logística e da manufatura (Parsa et al., 2019) bem como tarefas de escritório de uma forma geral (Rodrigues et al., 2022). De acordo com Alsubaie e colaboradores (2021) e Mondal e colaboradores (2019), os ensaios são efeutados em ambiente controlado (laboratório). Quanto á população alvo de análise, os artigos seguem quatro vertentes, uma direcionada somente para o fator idade, estabelecendo um intervalo de idades para os indivíduos alvos de análise (Parsa et al., 2019), uma segunda direcionada para a idade e a saúde dos indivíduos de acordo com Mondal e colaboradores (2019), Alsubaie e colaboradores (2021) e Rodrigues e Colaboradores (2022), sendo ainda abordados dois outros fatores, nomeadamente a questão de uma população alvo de análise diversificada no que toca a estilos de cabelo e dimensões corporais (Ding et al.,

2019) e um que restringe que a população amostral deva-se basear somente em pessoas que sejam utilizadoras frequentes de computador (Rodrigues et al., 2022).

Relativamente aos equipamentos utilizados nos ensaios que dão corpo aos artigos científicos, é referido em todos eles a aplicação de câmaras, sendo que, considerando o artigo de Ding e Colaboradores (2019) e de Kunz e Colaboradores (2023), estas mesmas são abordadas de forma isolada. Parsa e Colaborades (2019). Alsubaie e Colaboradores (2021) e Liu & Chang (2022) prevêm a aplicação conjunta câmaras com sensores, Mondal e Colaboradores (2019) prevê a aplicação conjunta de câmaras com dinamómetros e plataformas de força e Rodrigues e Colaboradores (2022) prevê ainda a utilização conjunta de câmaras com goniómetros emultiplexadores de vídeo.

A nível das variáveis a aferir, todos os artigos prevême a obtenção de dados relativos a ângulos, nomeadamente de extensão ou flexão, bem como de forças como é o caso das forças de cisalhamento e de compressão.

Relativamente aos *softwares* mencionados nos artigos selecionados em revisão bibliográfica,importa referir que apenas Parsa e Colaboradores (2019) referenciamo os sistemas MoCap eum outro artigofaz referência á aplicação de algoritmos (Rodrigues et al., 2022).

Quanto aos modelos ergonómicos, Rodrigues e Colaboradores (2022), Dig e Colaboradores (2019) e Kunz e Colaboradores (2023) incidem a sua investigação na utilização do método Rula, sendo este modelo o mais mencionado nos artigos considerados. O método de Rula prevê uma avaliação prática e simples, no entanto somente direcionado para a avaliação dos membros superiores ao invés do método de REBA que, ainda que possuindo pouca expressão nos artigos analisados, trata-se de uma ferramenta que permite analisar simultaneamente a postura adotada pelos membros superiores, extremidades inferiores, tronco e pescoço.

É de referir que quatro dos sete artigos resultantes da revisão bibliográfica, referem que a avaliação ergonómica é realizada em tempo real (Alsubaie el at., 2021; Ding et al., 2019; Mondal et al., 2019 ; Parsa et al., 2019)

Somente um artigo aborda a utilização de algoritmos de visão computacional e a captura e análise de movimento em 3D (ex: sistema VICON NEXUS) (Alsubaie et al.,2019), sendo que,algorítmos de visão computacional tratam-se de uma ferramenta de avaliação ergonómica que permite monitorizar de forma automatizada as posturas dos trabalhadores (Patrick Rodrigues el al., 2022).

Quanto aos resultados obtidos, sendo o tema de dissertação recente e ainda pouco explorado, os mesmos tendem a ser limitados e pobres em informação recolhida. Dos sete artigos considerados, já existe informação relativamente a sistemas de captura de movimento através da utilização de câmaras com recurso a marcadores reflexivos, também foi encontrada nomeadamente informação relativa à utilização do software Matlab no processamento de dados (Rodrigues et al., 2022; Ding et al., 2019; Parsa et al., 2019) , no entanto não foi identificada a utilização conjunta do sistema de captura de movimento Qualisys Motion Capture com recurso a marcadores reflexivos mais a utilização de Matlab.

2.4 Objetivos da dissertação

Considerando a grande problemática ocupacional que são as LMERT, é necessário proceder a um diagnóstico precoce aos ambientes laborais, de forma a adaptar os postos de trabalho de acordo com as necessidades dos trabalhadores.

Desta forma, é imprescindível levar a cabo avaliações ergonómicas que permitam compreender quais os perigos e fatores desencadeadores que estão presentes, de forma a ser possível a mitigação dos riscos associados.

O objetivo da presente dissertação visa apresentar uma prova de conceito na execução de uma análise ergonómica em tempo-real, segundo a norma ISO 11228-1:2003, através de um sistema de captura de movimento (MoCap).

Quanto aos objetivos específicos da presente dissertação, os mesmos prendem-se com:

- Montagem e recolha de dados em tempo real de um sistema MoCap que permita a análise de movimento de corpo inteiro;
- Comprovar a viabilidade de aplicação do referencial normativo ISO 11228-1:2003 a dados recolhidos a partir de um MoCap em tempo-real.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia associada à presente dissertação encontra-se expressa na figura 7.

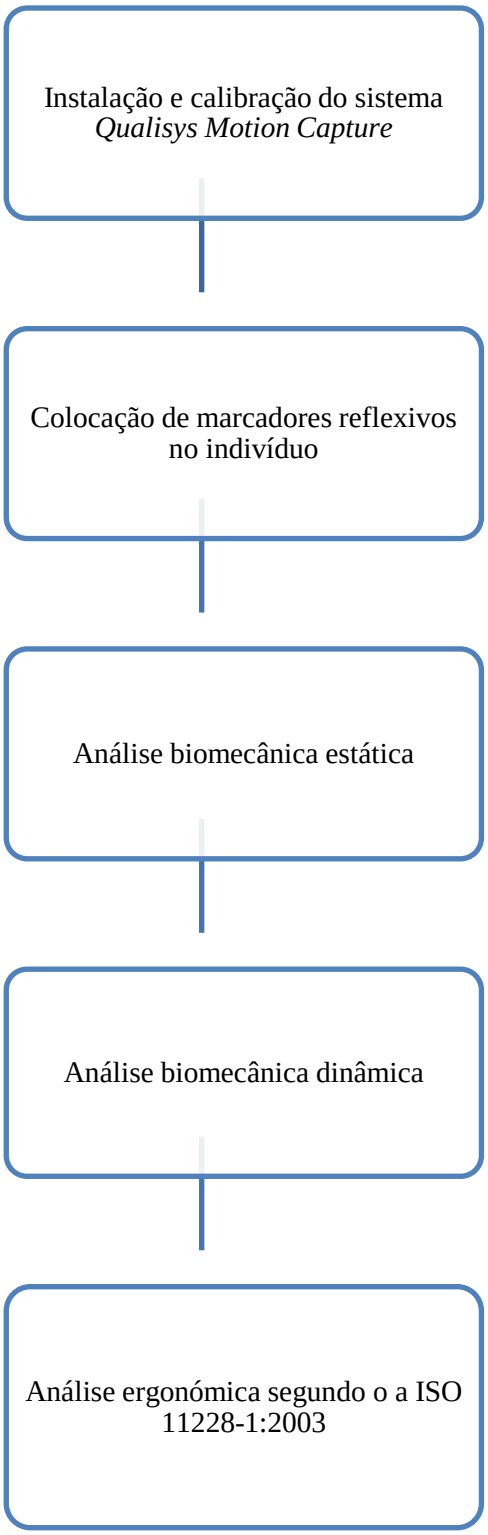


Figura 7 - Metodologia geral da dissertação.

A metodologia levada a cabo na presente prova de conceito, baseia-se de uma forma geral na instalação e respetiva calibração de um sistema MoCap e posterior realização de duas análises biomecânicas, uma estática e uma dinâmica, sendo que esta última é representativa de uma tarefa de movimentação manual de cargas, com vista ao desenvolvimento de uma análise ergonómica segundo a ISO 11229-1:2003.

3.1 Caraterização do ensaio

A metodologia definida no ponto 3 do presente documento, incide sobre uma prova de conceito baseada numa análise ergonómica segundo a norma ISO 11228-1:2003, com recurso a dados recolhidos através do sistema de captura de movimento Qualisys Motion Capture, cujos dados são capturados e analisados através do software QTM, que posteriormente são tratados diretamente a partir do software mencionadas e através do software Matlab.

O ensaio recai sobre uma simulação de uma tarefa de movimentação manual de cargas, cujas carateristicas da trajetória e do indivíduo que fez parte do ensaio são, nomeadamente:

- Tempo do ensaio: 14,6 segundos (s);
- Idade do indivíduo: 24 anos;
- Peso da carga transportada: 3 quilogramas (kg);
- Duração previsto para a tarefa: 1hora.

3.2 Sistema Qualisys Motion Capture

O Qualisys Motion Capture baseia-se num sistema de captura de movimento através da combinação de câmaras com marcadores, sensores inerciais ou até mesmo somente através do uso de câmaras, dependendo do seu modelo, existindo já soluções de câmaras híbridas que permitem a captura de movimento sem marcadores.

Este sistema permite a coleta de dados relativos ao movimento do corpo humano, tratando-se de uma ótima ferramenta de biomecânica e ergonomia sendo capaz de apoiar desde estudos de cinemática e cinética do movimento do corpo humano a avaliações ergonómicas, podendo levar ao desenvolvimento de planos de intervenção aos postos de trabalho e desta forma atuar nomeadamente na mitigação do desenvolvimento/surgimento das LMERT.

Relativamente à importância da sua utilização no desenvolvimento de uma análise ergonómica, prende-se essencialmente com a precisão e qualidade dos dados recolhidos, ou seja, consegue promover avaliações mais rigorosas e fidedignas.

3.2.1 Instalação do sistema Qualisys Motion Capture

O sistema Qualisys Motion Capture prevê inicialmente a instalação de câmaras para a captura do movimento, sendo que, poderão variar quanto ao modelo, quantidade e disposição das mesmas.

A nível do modelo de câmara a dotar, depende muito das necessidades de recolha, sendo que o sistema possui nomeadamente desde câmaras de alta velocidade, mais direcionadas para a captura de movimentos

rápidos, câmaras IR, utilizadas para a deteção de marcadores reflexivos através da radiação infravermelha, câmaras subaquáticas entre outras tipologias. A quantidade de câmaras a utilizar bem como a sua disposição, depende diretamente da dimensão e da forma do volume de captura a cobrir, sendo também necessário considerar a complexidade dos movimentos a capturar. De uma forma genérica, um maior número de câmaras oferece uma maior cobertura e um menor risco de oclusão.

A nível de posicionamento das câmaras, deverá ser tido em conta que, o posicionamento das mesmas a diferentes ângulos de captura, potenciam em caso de aplicabilidade, a visibilidade dos marcadores.

Deverá ainda ser considerado o espaçamento entre câmaras, de forma a permitir uma maior precisão da triangulação dos marcadores e deverá ser evitada a presença de obstáculos da zona alvo de captura do movimento.

Quanto ao sistema de conexão das câmaras, após a instalação, as mesmas são ligadas em série por um único cabo, sustentada na tecnologia PoE (Power over Ethern), ou seja, capaz de transmitir energia e dados em simultâneo. A última câmara deverá ser conectada, também através de um cabo Ethernet, a um dispositivo switch, que receciona os dados, converte-os e envia-os para um computador, ao qual está conectado por ligação cabo, para o devido tratamento no software QTM.

A figura 8[5] representa um exemplo de posicionamento de câmaras, apresentado pela Qualisys no seu site.

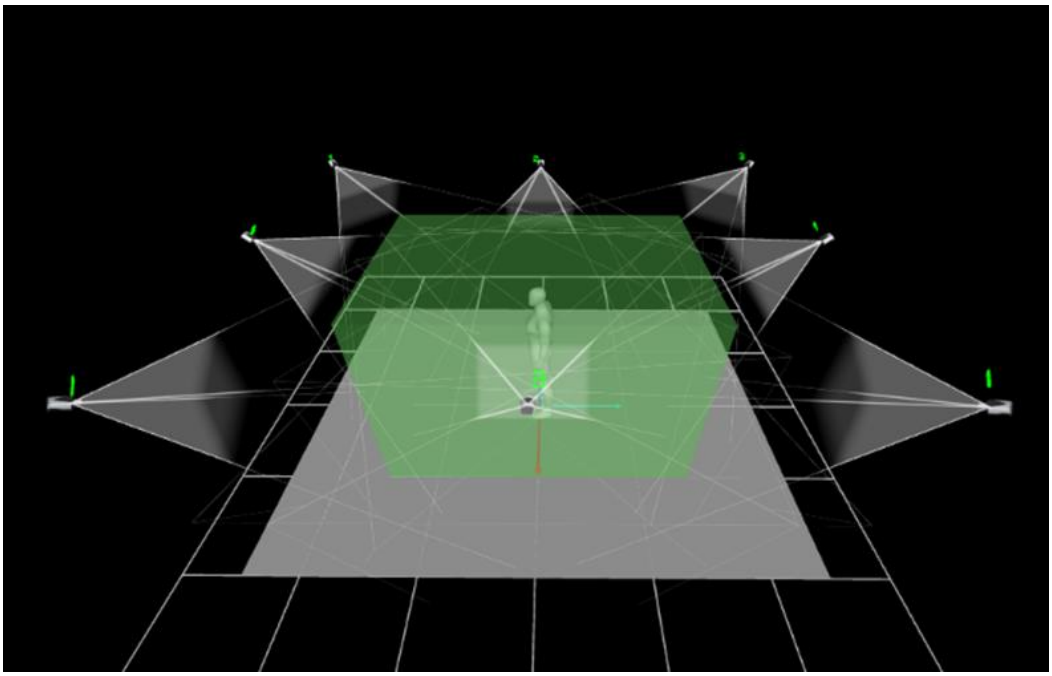


Figura 8 - Imagem ilustrativa do sistema de captura de movimento da Qualisys.

Uma vez instaladas as câmaras, procede-se à ligação das mesmas, sendo que o QMT irá automaticamente detetá-las. Este software é utilizado para capturar, analisar e visualizar os dados de movimento, incluindo ainda ferramentas para calibração das câmaras do sistema.

[5] https://www.qualisys.com/cameras/miqus/

3.2.2 Calibração 3D do sistema Qualisys Motion Capture

O próximo passo incide na calibração em 3D do sistema, através de um kit de calibração de fibra de carbono, constituído por uma estrutura em L dobrável com quatro marcadores e uma vareta de 600mm com dois marcadores (figura 9[6]), sendo que a utilização destes marcadores se prende com a maximização de precisão da calibração.

No que toca a padrões de qualidade de calibração, devemos considerar os seguintes fatores:

- Uma vez efetuada a calibração do sistema, a mesma expira passadas 24 horas;
- É recomendado realizar uma nova calibração após 5 horas;
- É recomendada a realização de uma nova calibração, sempre que o resíduo de rastreamento for superior a 3mm.

Deverá ser ainda considerada uma nova calibração do sistema sempre que haja alguma perturbação com os equipamentos instalados, nomeadamente toques acidentais às câmaras.



Figura 9 - Kit de calibração de fibra de carbono.

A estrutura em L (figura 10[7]) possui nível ajustável, placas de alinhamento da placa de força, nivelamento de água de forma a garantir um sistema de coordenadas (x, y e z) na vertical e prevê a origem deste sistema ao nível do chão.

[6] https://www.qualisys.com/accessories/calibration-kits/carbon-fibre-calibration-kit/
[7] https://www.qualisys.com/accessories/calibration-kits/carbon-fibre-calibration-kit/



Figura 10 - Caraterísticas da estrutura em L.

A calibração do sistema consiste em efetuar a cobertura do máximo volume possivel, através de movimentos circulares e de varredura.

3.2.3 Utilização de marcadores reflexivos

A colocação de marcadores nas extremas dos segmentos corporais, visa a identificação da posição e do movimento que os mesmos assumem durante determinada análise biomecânica com recurso a câmaras.

Tal como o próprio nome indica, os marcadores reflexivos (figura 11[8]) são compostos por um material que reflete a radiação infravermelha (IR) emitida pelas câmaras a utilizar e, uma vez que estas captam somente luzes que se encontram na mesma frequência que a emitida, neste caso radiação IR, leva a que haja um reconhecimento do posicionamento dos diferentes segmentos corporais, através do reconhecimento dos respetivos marcadores



Figura 11 - Exemplos de marcadores reflexivos da Qualisys.

Para que este reconhecimento seja válido e a modelação dos segmentos corporais seja possível num software específico para o efeito, nomeadamente o Visual 3D, deverão ser utilizados um mínimo de três marcadores em cada um destes segmentos corporais a identificar.

Os marcadores reflexivos estão associados aos marcadores do tipo passivo, ou seja, não são emissores de luz, mas sim recetores de radiação luminosa emitida por uma ou várias câmaras em simultâneo, refletindo-a de volta para ser captada novamente por estas últimas. Uma vez realizada a etapa da calibração do sistema,

[8] https://www.qualisys.com/accessories/markers/

deverá ser realizada a fixação dos marcadores reflexivos na pele do indivíduo ou, quando não seja possível, diretamente no vestuário do mesmo, na zona das respetivas extremidades dos segmentos corporais.

A quantidade e disposição das câmaras a utilizar, afeta diretamente no que toca à identificação da localização dos marcadores, uma vez que, em determinadas posturas ou movimentos adotados pelo individuo, alguns dos marcadores podem não ser detetados.

3.3 Análise biomecânica

3.3.1 Análise biomecânica estática

Colocados os marcadores, procede-se ao início da análise biomecânica através do QTM.

A primeira análise a realizar-se é do tipo estática, uma vez que irá permitir ao software conhecer o corpo do indivíduo, definindo cada um dos segmentos corporais e suas respetivas dimensões.

A posição estática adotada a adotar deverá incidir na posição anatómica neutra (figura 12[9]), de forma a maximizar a captura dos marcadores por parte câmaras.

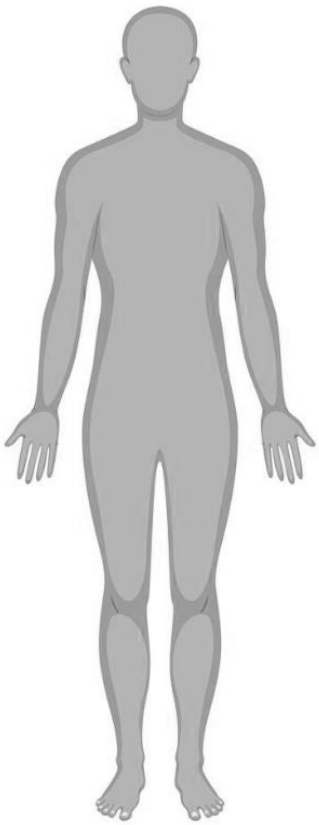


Figura 12 - Posição anatómica neutra.

[9] https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/418279-contorno-do-corpo-humano-em-tres-cores

3.4 Análise biomecânica dinâmica

Numa segunda fase é realizada uma análise biomecânica dinâmica, baseada na recriação de eventos associados a uma tarefa laboral.

Este tipo de análise prevê o estudo do movimento do corpo humano, de forma a ser possível a perceção do funcionamento do sistema musculoesquelético durante determinadas atividades e permite a avaliação das posturas e movimentos adotados durante a execução das mesmas, ajudando a traçar um plano de ação com vista à melhoria das condições ergonómicas presentes ou desenvolvimento de equipamentos ergonómicos baseado nos dados recolhidos, com vista à mitigação e prevenção das LMERT.

Nesta análise existe ainda a capacidade de recolha de dados de forças aplicadas durante a execução das tarefas, através da utilização combinada de plataformas de força.

3.4.1 Exportação de dados

Relativamente à exportação dos dados gerados no QTM, poderá ser realizada em vários formatos, tal como é possivel constatar na figura 13, sendo que, irá ser focada somente a exportação em arquivo. mat, para posterior processamento dos dados em Matlab, uma vez que a presente dissertação prevê a utilização do respetivo software.

O MATLAB proporciona, entre outras ações, o cálculo de ângulos, a avaliação dos ângulos de acordo com os intervalos ergonómicos de segurança, as forças aplicadas nas articulações ou segmentos, demonstrando-se uma valiosa ferramenta para o tratamento dos dados recolhidos no QTM.

No caso deste último exemplo, das forças aplicadas em articulações ou segmentos, seria possível através do QTM na eventualidade de ser utilizada uma plataforma de força.

De uma forma geral, a exportação dos dados gerados no QTM para um formato de arquivo passível de leitura em Matlab, dá-se tal como representado na figura 13, através da seleção da opção “File” na barra de ferramentas, seguido de “Export” e selecionar a opção “To MAT”.

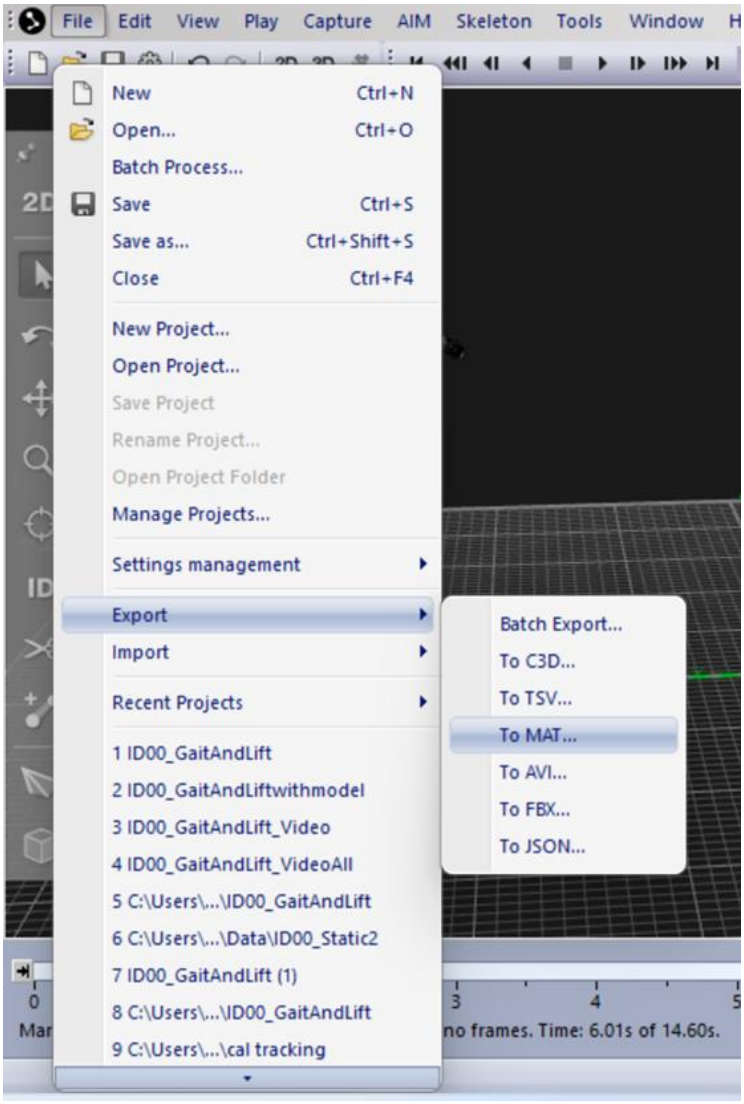


Figura 13 - Caminho de seleção para exportação do ficheiro em formato .mat.

3.5 Análise ergonómica segundo o sistema normativo

A avaliação ergonómica, considerando o sistema normativo existente, rege-se pelas diretrizes e métodos enunciados nas ISO 11228-1:2003, 11228-2:2007, 11228-3:2007 e 11226:2000, para a identificação e análise da presença de riscos ergonómicos no ambiente de trabalho, com vista á sua mitigação.

Considera-se a tipologia das tarefas a avaliar, com vista á seleção da norma mais indicada para o efeito. Desta forma, atendendo que o caso de estudo incide numa tarefa de movimentação manual de cargas, a norma sobre a qual recai a análise ergonómica é respetivamente a ISO 11228-1:2003.

Importa ainda referir que, ainda que não aplicável neste caso em concreto, a tipologia de tarefas poderão não surgir necessariamente isoladas, sendo que um individuo que nomeadamente se encontra a manusear cargas em alta frequência pode simultaneamente apresentar uma postura de trabalho estática.

3.5.1 Norma ISO 11228-1:2003

A norma ISO 11228-1:2003 visa na mitigação das LMERT através do fornecimento de diretrizes direcionadas para a movimentação manual de cargas ergonomicamente segura.

Para tal, define critérios e métodos de avaliação, estabelece limites de peso recomendados para a elevação de cargas, identifica fatores de risco e prevê ainda a recomendação de boas condutas a aplicar em prol da melhoria das condições de trabalho e, é essencialmente nesta ótica, que irá ser desenvolvida a análise ergonómica.

Considerando a fórmula do peso limite previsto na norma, é possivel calcular limites seguros para o levantamento manual de cargas e perceber se estamos perante tarefas que necessitam de correção e desta forma travar o aparecimento/desenvolvimento das LMERT.

Equação 1 - Equação relativa à massa recomendada (m_R) que pode ser levantada em condições de segurança.

$$m_R \leq m_{ref} \times h_M \times v_M \times d_M \times \alpha_M \times f_M \times c_M$$

Em que:

- m_R: Massa recomendada;
- m_{ref}: Massa de referência;
- h_M: Multiplicador da distância horizontal;
- v_M: Multiplicador da localização vertical;
- d_M: Multiplicador do deslocamento vertical;
- α_M: Multiplicador da assimetria;
- f_M: Multiplicador da frequência;
- c_M: Multiplicador do acoplamento para a qualidade da pega.

Relativamente à aferição dos multiplicadores que integram a equação da massa recomendada, é conseguida através das seguintes equações, que integram a ISO 11228-1:2003:

Equação 2 - Cálculo do multiplicador h_M.

$$h_M = \frac{0{,}25}{h} \; ; \qquad \text{Se h} \leq 0{,}25 \text{ então } h_M = 1 \text{ e se h} > 0{,}63 \text{ então } h_M = 0$$

Em que:

- h_M: Multiplicador da distância horizontal;
- h: Distância horizontal, em metros, medida do ponto médio da linha que une os tornozelos até ao ponto médio em que as mãos seguram o objeto na posição de elevação.

Equação 3 - Cálculo do multiplicador v_M.

$$v_M = 1 - 0{,}3\ x\ |0{,}75 - v|\ ; \qquad \text{Se v} > 1{,}75 \text{ ou v} < 0 \text{ então } v_M = 0$$

Em que:

- v_M: Multiplicador da localização vertical;
- v: Localização vertical, em metros, determinadas pela medição da distância desde o chão até ao ponto em que as mãos seguram o objeto.

Equação 4 - Cálculo do multiplicador d_M.

$$d_M = 0{,}82 + \frac{0{,}045}{d}\ ; \qquad \text{Se d} > 1{,}75 \text{ então } d_M = 0 \text{ e se d} < 0{,}25 \text{ então } d_M = 1$$

Em que:

- d_M: Multiplicador do deslocamento vertical;
- d: deslocamento vertical, em metros, desde a origem até ao destino da elevação.

Equação 5 - Cálculo do multiplicador α_M.

$$\alpha_M = 1 - 0{,}0032\ x\ \alpha\ ; \qquad \text{Se } \alpha > 135^{o} \text{ então } \alpha_M = 0$$

Em que:

- α_M: Multiplicador da assimetria;
- α: Ângulo de assimetria, em graus.

No que toca ao multiplicador f_M, deverá ser tido em conta o número de elevações/minuto, o valor de v (localização vertical) e ainda a duração da tarefa, tal como previsto na figura 14.

Table A.1 — Values of frequency multiplier (f_M) of Equation (A.1)

Frequency of lifting number of lifts/min	Values of f_M					
	$t_L \leqslant 1$ h		1 h < $t_L \leqslant$ 2 h		2 h < $t_L \leqslant$ 8 h	
	v < 0,75 m	$v \geqslant$ 0,75 m	v < 0,75 m	$v \geqslant$ 0,75 m	v < 0,75 m	$v \geqslant$ 0,75 m
$\leqslant$ 0,2	1,00	1,00	0,95	0,95	0,85	0,85
0,5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,72	0,45	0,45
5	0,80	0,80	0,60	0,60	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,50	0,50	0,27	0,27
7	0,70	0,70	0,42	0,42	0,22	0,22
8	0,60	0,60	0,35	0,35	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,30	0,30	0,00	0,15
10	0,45	0,45	0,26	0,26	0,00	0,13
11	0,41	0,41	0,00	0,23	0,00	0,00
12	0,37	0,37	0,00	0,21	0,00	0,00
13	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
> 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 14 - Tabela A.1. da ISO 11228-1:2003, relativa aos valores de f_M.

No que toca ao multiplicador c_M o mesmo é aferido através dos dados enunciados na Tabela 3, onde são abordadas questões de altura e qualidade da pega. Relativamente a qualidade da pega, de acordo com a ISO 11228-1:2003, poderá ser classificada como:

- **Boa** – Caso o objeto alvo de pega possa ser agarrado, existindo envolvimento confortável da mão em torno das alças ou recortes do objeto, sem desvios significativos da postura neutra do punho, ou do próprio objeto ou desvios excessivos do punho ou posturas inadequadas.
- **Moderada** – Caso o objeto possua alças ou recortes que não atendam aos critérios de boa qualidade de preensão ou situações em que o próprio objeto possa ser agarrado com uma pega na qual a mão seja passível de flexão em cerca de 90°.
- **Fraca** – Situação em que os critérios de qualidade de preensão boa ou regular não sejam atendidos.

Tabela 3 - Tabela A.2 da ISO 11228-1:2003, relativa ao multiplicador C_M.

Qualidade da pega	**Valores de C_M**	
	Altura < 0,75m	Altura ≥ 0,75m
Boa	1,00	1,00
Moderada	0,95	1,00
Fraca	0,90	0,90

Relativamente à variável m_{ref}, a mesma encontra-se tabelada, de acordo com o género e idade da população na tabela A.1 no anexo A da ISO/TR 12295:2014, tal como se constata na Tabela 4.

Tabela 4 - Tabela A.1 da ISO 12295:2014, relativa às massas de referência.

População ativa por género e idade	**Massa de referência (m_{ref})**
Homens (18–45 anos)	25kg
Mulheres (18–45 anos)	20kg
Homens (<18 ou >45 anos)	20kg
Mulheres (<18 ou >45 anos)	15kg

Se o valor da massa de elevação calculado for igual ou inferior à massa de referência, estamos perante uma condição aceitável, caso este valor ultrapasse o da massa de referência, estamos perante uma condição não aceitável. De acordo com o valor aferido para a massa recomendada, é ainda possivel o cálculo do índice de elevação (LI), sendo o mesmo representado pela equação 6.

Equação 6 – Índice de elevação.

$$LI = \frac{m_A}{m_R}$$

Em que:

- LI: Índice de elevação.
- m_R: Massa recomendada;
- m_A: Massa real levantada.

Consoante o valor de LI obtido, consideram-se os dados enunciados na tabela A.2 da ISO 12295:2014, relativa à interpretação do LI, tal como é possivel constatar na Tabela 5.

Tabela 5 - Interpretação dos valores de LI definidos na ISO 12295:2014.

LI	**Nível de exposição**	**Interpretação**	**Consequências**
LI < 1,0	Aceitável	A exposição é aceitável para a maioria dos membros da população activa de referência.	Aceitável: sem consequências.

LI	Nível de exposição	Interpretação	Consequências
1,0 < LI < 2,0	Risco presente	Uma parte da população adulta que trabalha na indústria pode estar exposta a um nível de risco moderado.	Redesenhar tarefas e locais de trabalho de acordo com as prioridades.
2,0 < LI < 3,0	Risco presente; alto nível	Uma parte cada vez maior da população adulta que trabalha na indústria pode estar exposta a um nível de risco significativo.	Redesenhar tarefas e locais de trabalho o mais rápido possível.
LI > 3,0	Risco presente; nível muito alto	Absolutamente não é adequado para a maioria da população trabalhadora. Considerar apenas circunstâncias excepcionais em que o desenvolvimentos ou intervenções tecnológicas não estejam suficientemente avançados. Nestas circunstâncias excepcionais, deve ser dada maior atenção e consideração à educação e formação do indivíduo (por exemplo, conhecimentos especializados relativos à identificação e redução de riscos).	Redesenhe tarefas e locais de trabalho imediatamente.

4 RESULTADOS

4.1 Instalação do sistema Qualisys Motion Capture

A presente dissertação prende-se inicialmente com a instalação de 6 câmaras de captura de movimento, estrategicamente dispostas de forma a garantir a máxima cobertura do volume espacial definido para o ensaio, tal como expresso na figura 15.

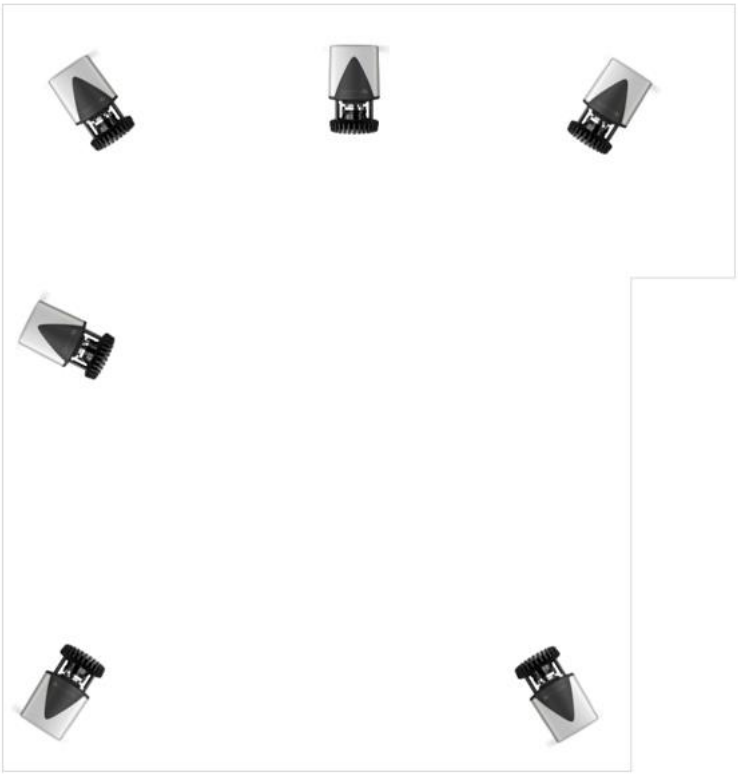


Figura 15 - Esquema da disposição especial das câmaras.

4.2 Especificações das câmaras

As câmaras utilizadas no ensaio são as Miqus M3 (figuras 16 e 17), que prevêem a captura de movimento baseado na utilização de marcadores.

As caraterísticas técnicas do equipamento encontram-se expressas na Tabela 6.



Figura 16 - Câmara Miqus M3.

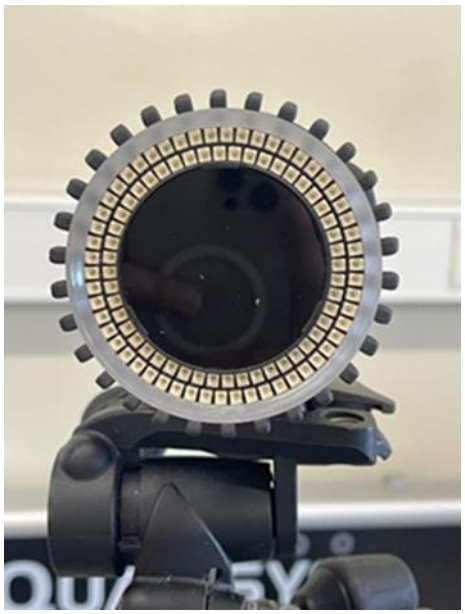


Figura 17 - Anel de leds para deteção do movimento.

Tabela 6 - Caraterísticas da câmara Miqus M3.

Câmara Miqus M3		
Modo normal (FOV completo)	Píxeis	2 deputados
	Resolução	1824 x 1088
	Taxa de quadros	340 fps
Modo de alta velocidade (FOV completo)	Píxeis	0,5 MP
	Resolução	912 X 544
	Taxa de quadros	650 fps
Latência da câmara		2,9 ms
Latência do sistema		5 ms
Lente padrão (FOV)		64º x 41º
Opcional (FOV) amplo		80º x 53º
Opcional (FOV) estreito		44º x 27º
Opção de vídeo de alta velocidade		Não
Alcance máximo com marcador de 16 mm		10 metros
Montagem da lente		C

4.2.1 Calibração do sistema

O momento da calibração encontra-se expresso nas figuras 18 e 19.



Figura 18 - Momento de calibração durante o ensaio.

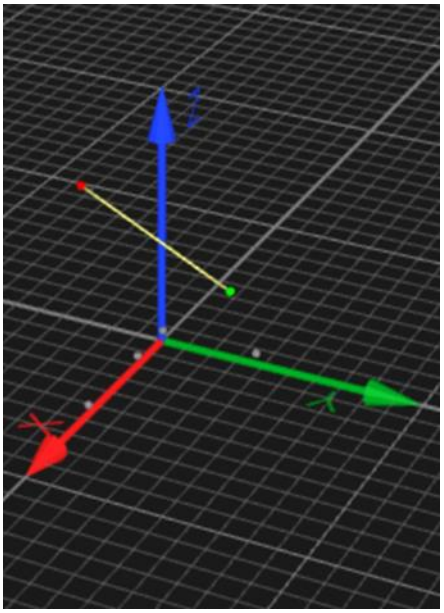


Figura 19 - Vista do momento da calibração no QTM.

A duração da calibração adotada é de 30 segundos, com um atraso associado de 5 segundos. Uma vez realizada a calibração, verifica-se que a mesma passou com sucesso no software e que o nível de preenchimento conseguido foi de 99,4%e de 100% relativamente em cada um dos marcadores da vareta utilizada. A figura 20 representa o volume de preenchimento alcançado durante a calibração efetuada.

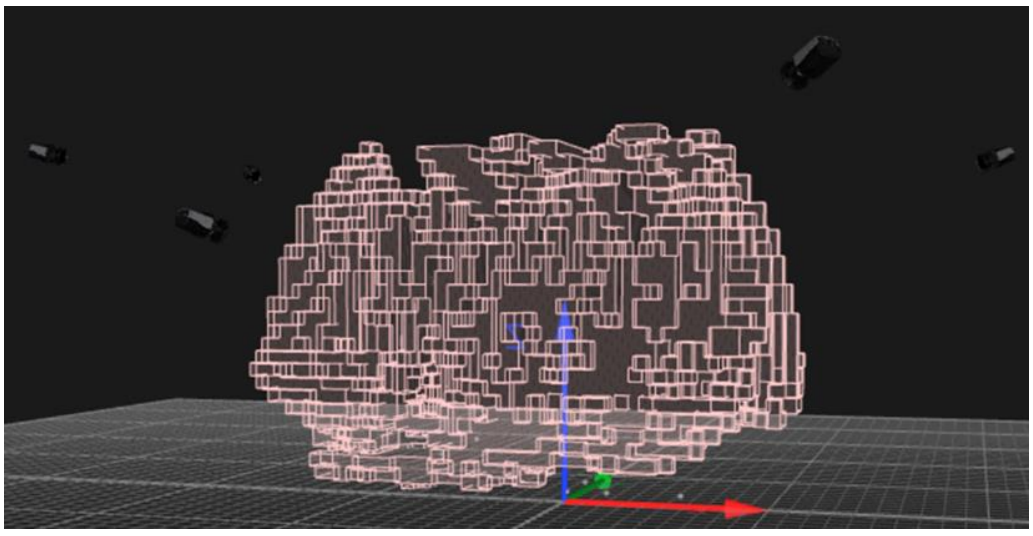


Figura 20 - Volume de rastremaento no QTM, após calibração do sistema.

4.2.2 Marcadores reflexivos utilizados

O ensaio previu a utilização de 50 marcadores MoCap superesféricos de 12,5mm (figura 21), de captura de movimento Qualisys, dos quais 4 integram um cluster posicionado na zona da coxa direita (visível na figura 22). Estes são enroscados numa base plástica fina e leve que, através da aplicação de fita adesiva dupla-face, são posteriormente fixados ao corpo humano.



Figura 21 - Marcadores utilizados no ensaio experimental.

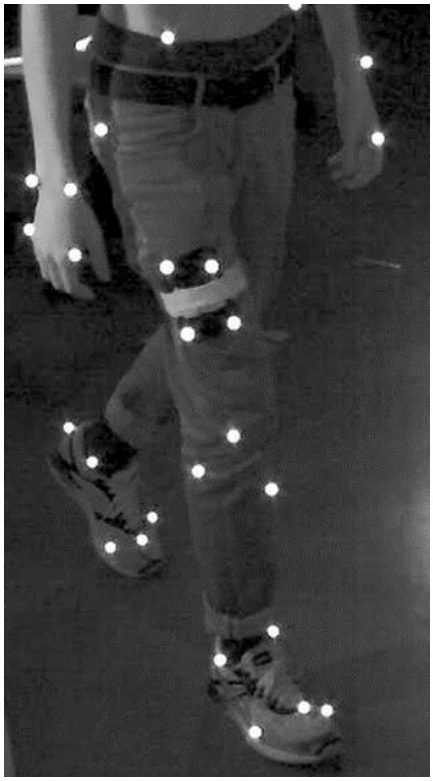


Figura 22 - Captura dos marcadores por parte do sistema de câmaras instalado.

A disposição corporal dos marcadores é baseada no protocolo IOR, sendo que neste caso em concreto são ainda utilizados marcadores nos membros superiores e um cluster na perna direita, critérios estes que o protocolo não prevê, tal como é possivel visualizar na figura 23.

Considerando o plano anatómico frontal, os marcadores identificados a cor vermelha são os que se encontram na porção anterior do corpo do indivíduo e os verdes encontram-se dispostos na zona posterior.

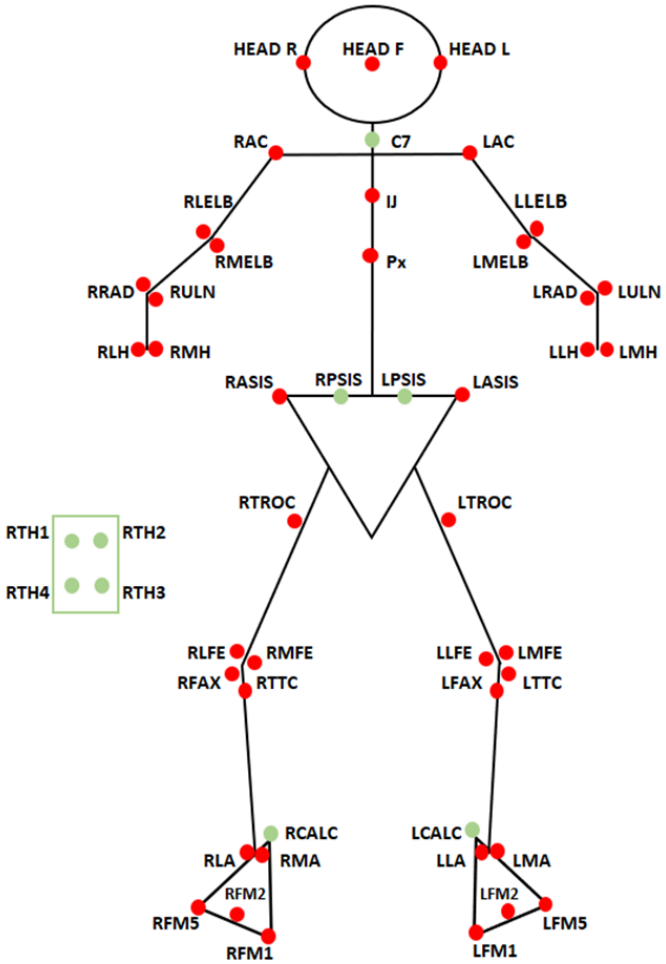


Figura 23 - Pontos anatómicos de fixação dos marcadores.

Relativamente à nomenclatura utilizada para as diversas localizações dos marcadores, a mesma encontra-se expressa na Tabela 7.

Tabela 7 - Identificação e posicionamento dos marcadores.

Marcador	Posição	Marcador	Posição
HEAD R	Zona direita da cabeça	LTROC	Trocânter esquerdo
HEAD F	Zona frontal da cabeça	RLFE	Epicôndilo lateral do fémur direito
HEAD L	Zona esquerda da cabeça	LLFE	Epicôndilo lateral do fémur esquerdo
RAC	Acrómio direito	RMFE	Epicôndilo medial do fémur direito
LAC	Acrómio esquerdo	LMFE	Epicôndilo medial do fémur esquerdo

Marcador	Posição	Marcador	Posição
C7	7.ª vértebra cervical	RFAX	Ponto proximal da cabeça da fíbula direito
RLELB	Epicôndilo lateral do úmero direito	LFAX	Ponto proximal da cabeça da fíbula esquerdo
LLELB	Epicôndilo lateral do úmero esquerdo	RTTC	Parte anterior da tuberosidade da tíbia direita
RMELB	Epicôndilo medial do úmero direito	LTTC	Parte anterior da tuberosidade da tíbia esquerda
LMELB	Epicôndilo medial do úmero esquerdo	RCALC	Superfície posterior do calcanhar direito
IJ	Incisura jugular	LCALC	Superfície posterior do calcanhar esquerdo
Px	Esterno	RLA	Maléolo lateral direito
RRAD	Apófise estiloide do rádio direita	LLA	Maléolo lateral esquerdo
LRAD	Apófise estiloide do rádio esquerda	RMA	Maléolo medial direito
RULN	Apófise estiloide da ulna direita	LMA	Maléolo medial esquerdo
LULN	Apófise estiloide da ulna esquerda	RFM2	Face da cabeça do 2.º metatarso direito
RLH	Face da cabeça do 5.º metacarpo direita	LFM2	Face da cabeça do 2.º metatarso esquerdo
LLH	Face da cabeça do 5.º metacarpo esquerda	RFM5	Face da cabeça do 5.º metatarso direito
RMH	Face da cabeça do 2.º metacarpo direita	LFM5	Face da cabeça do 5.º metatarso esquerdo
LMH	Face da cabeça do 2.º metacarpo esquerda	RFM1	Face da cabeça do 1.º metatarso direito
RASIS	Espinha ilíaca direita	LFM1	Face da cabeça do 1.º metatarso esquerdo
LASIS	Espinha ilíaca esquerda	RTH1	Marcador 1 do Cluster - Coxa direita
RPSIS	Espinha isquíaca direita	RTH2	Marcador 2 do Cluster - Coxa direita
LPSIS	Espinha isquíaca esquerda	RTH3	Marcador 3 do Cluster - Coxa direita
RTROC	Trocânter direito	RTH4	Marcador 4 do Cluster - Coxa direita

4.3 Análise biomecânica estática

A análise biomecânica estática incidiu na realização da posição anatómica neutra por parte do indivíduo, durante 5 segundos. A importância desta etapa centra-se na calibração dos marcadores e na definição da postura de referência para todo o ensaio com vista á obtenção de resultados com a máxima precisão.

A figura 24 demonstra o resultado da captura realizada em QTM.

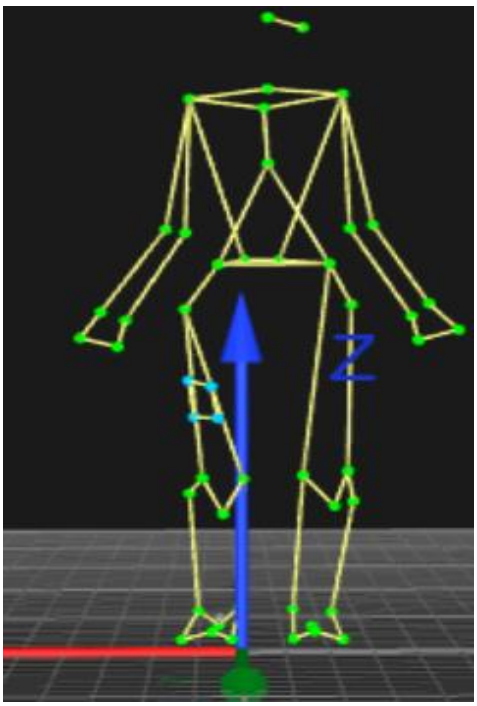


Figura 24 - Vista da posição neutra em QTM.

4.4 Análise biomecânica dinâmica

A análise biomecânica dinâmica compreende uma captura de movimento de 14,6 segundos e baseia-se na recriação de quatro eventos distintos, nomeadamente:

- Movimentação sem carga (figura 25);

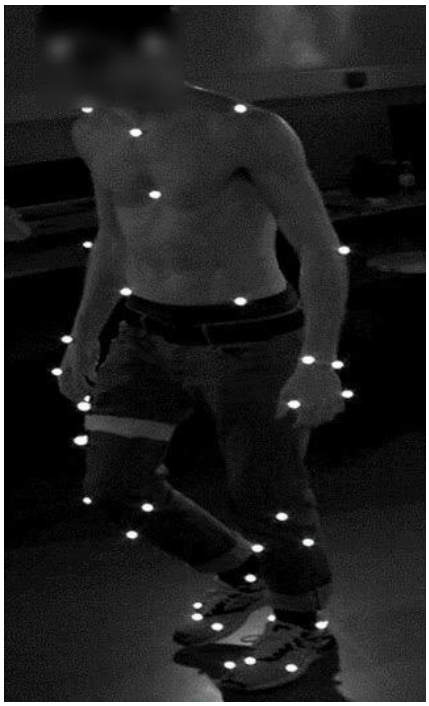


Figura 25 - Instante de movimento sem carga.

- Movimento de pegar em carga (figura 26);

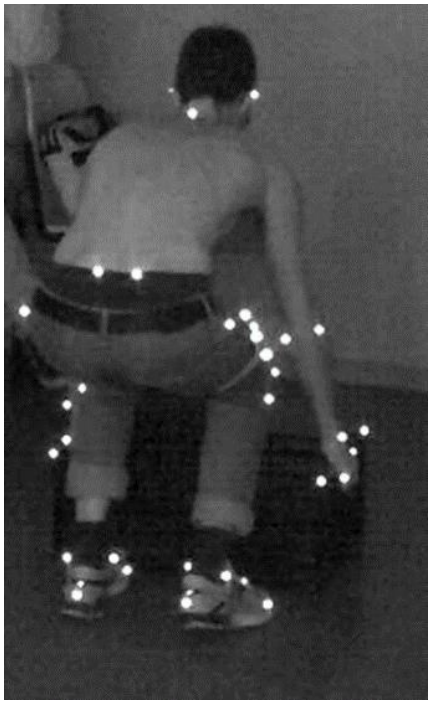


Figura 26 - Instante de movimento de pega da carga.

- Movimentação manual de carga (figura 27);



Figura 27 - Instante de movimentação manual de carga.

- Movimento de pousar a carga (figura 28).



Figura 28 - Instante de pouso de carga.

4.5 Análise ergonómica segundo a ISO 11228-1:2003

A tarefa alvo de análise na presente dissertação e que serve como prova de conceito, é baseada no levantamento e transporte de uma carga e como tal, considerando o sistema normativo existente integra a ISO 11228-1:2003.

Através dos dados recolhidos em QTM e, aplicando uma abordagem mista no processamento dos mesmos, a análise ergonómica incidirá no cálculo direto através dos dados recolhidos no QTM, no cálculo direto e da análise direta às coordenadas dos marcadores no QTM, na utilização do software Matlab para a aferição de determinados dados mais complexos, nomeadamente a aferição de ângulos, de forma a dar resposta á aplicação da ISO em questão.

Uma vez que os dados obtidos são resultado de uma análise em três dimensões (3D), a nível dos dados obtidos, importa referir que a dimensão vertical (altura) é medida ao longo dos eixos zzz, as distâncias horizontais são medidas nos eixos xxx e respetivamente, as distâncias laterais nos eixos yyy.

Neste tópico encontra-se descrito como foi possivel a aferição das variáveis necessárias para dar resposta à equação 1, que representa a fórmula geral da ISO 11228-1:2003, relativa à recomendada em condições de segurança e secundariamente ao valor do índice de elevação (LI).

4.5.1 Variáveis de cálculo da massa recomendada

Para o cálculo da massa limite de elevação, é necessário aferir um conjunto de valores como forma a dar resposta às variáveis que integram a respetiva fórmula, nomeadamente a localização vertical, a distância horizontal, a altura de elevação da carga, a qualidade da pega, a frequência de levantamentos, o peso da carga e o ângulo de rotação do tronco.

- **Massa de referência**

Relativamente á massa de referência, que traduz-se na massa a carregar considerada como apropriada para determinada população, considerando que o indivíduo alvo de análise na presente prova de conceito é do sexo masculino e possui 23 anos, o valor a assumir como massa de referência é de 25kg, tal como é possivel verificar pela tabela 8.

Tabela 8 – Massa de referência segundo a Tabela A.1 da ISO 12295:2014.

População ativa por sexo e idade	**Massa de referência (m_{ref})**
Homens (18–45 anos)	25kg
Mulheres (18–45 anos)	20kg
Homens (<18 ou >45 anos)	20kg
Mulheres (<18 ou >45 anos)	15kg

- **Distância horizontal (h)**

A distância horizontal a considerar é a medida entre as mãos do indivíduo e o ponto médio entre os ossos internos dos tornozelos aquando da pega da carga. Considerando que o ponto médio entre os ossos internos dos tornozelos pode de forma simplificada ser representado por um dos marcadores fixados nos tornozelos, desta forma torna-se possivel aferir esta medida através da relação entre os marcadores LMA e o LMH no momento exato em que se dá a pega. A distância horizontal, considerando o fator da uniformidade bilateral do indivíduo, incidirá sobre o valor médio auferido a partir do resultados das distâncias horizontais previstas no “frame 1014” (instante em que se dá o início do levantamento da carga), considerando as coordenadas dos marcadores LMA, LMH , RMA e RMH.
As figuras 29 e 30, permitem a visualização das respetivas coordenadas dos marcadores LMA, LMH, RMA e RMH no QTM, bem como o posicionamento dos mesmos no respetivo momento da elevação da carga.

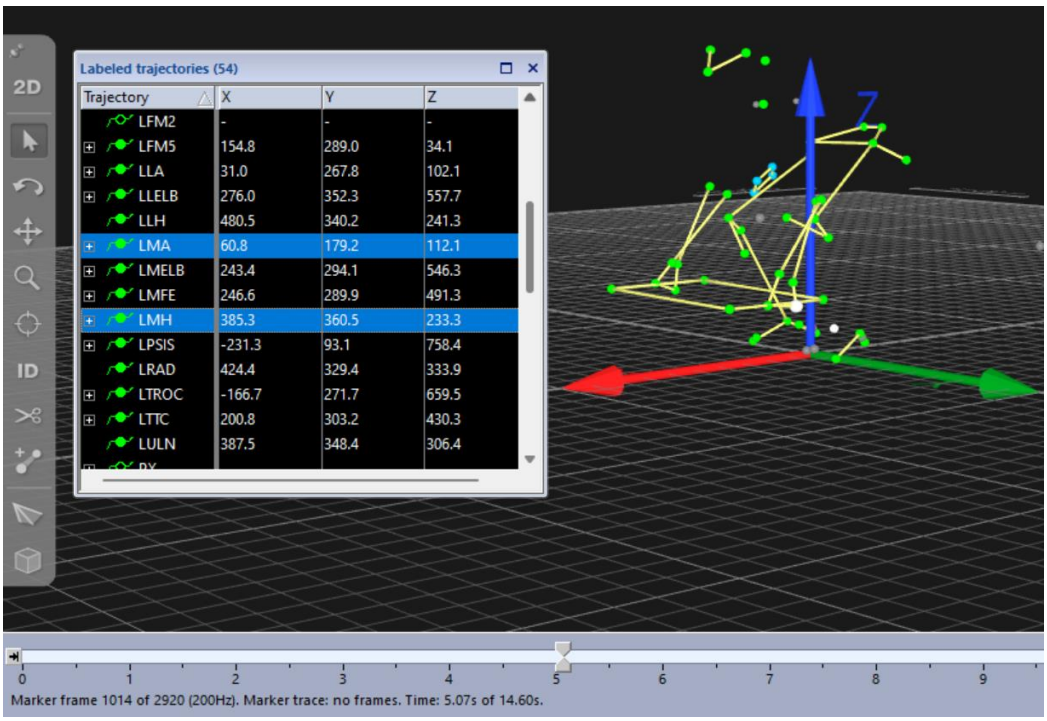


Figura 29 – Marcadores representativos da distância horizontal do lado esquerdo do corpo, em QTM.

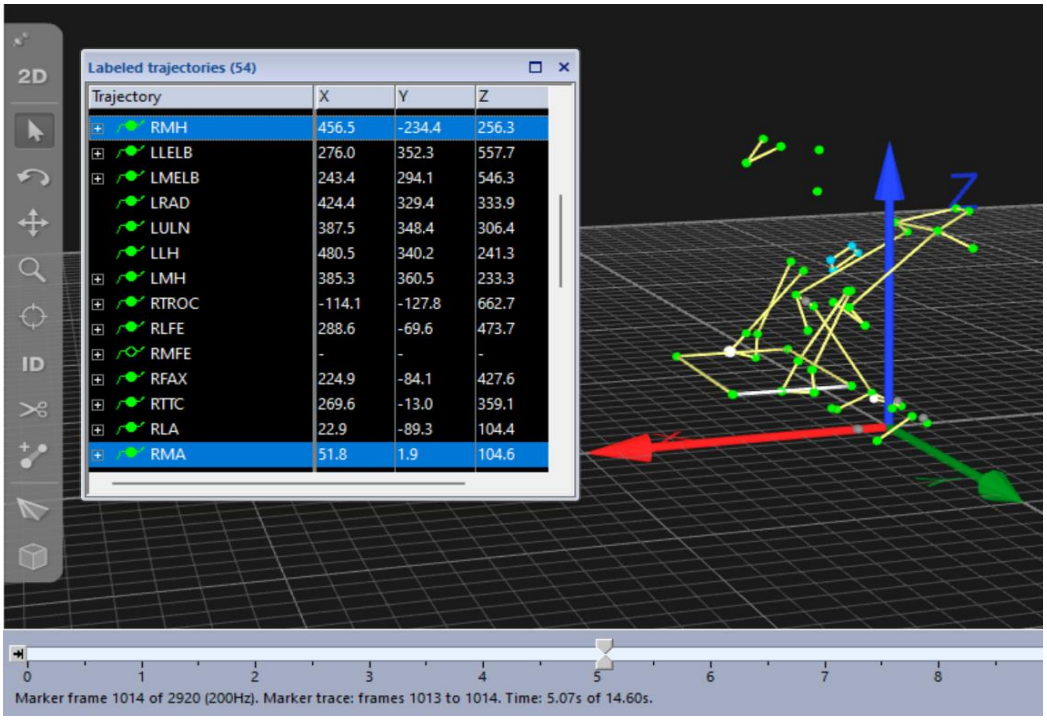


Figura 30 – Marcadores representativos da distância horizontal do lado direito do corpo, em QTM.

O cálculo da distância horizontal encontra-se expresso através da equação 1.

Equação 7 - Cálculo da distância horizontal, em metros.

$$h = \frac{(0{,}3853 - 0{,}0608) + (0{,}4565 - 0{,}0518)}{2} = 0{,}3646m$$

A distância horizontal resultante é de 0,6643m.

- **Altura de elevação da carga (d)**

A altura de elevação da carga é a altura medida desde o chão, se for o caso de a carga estar pousada diretamente nele, caso esteja em cima de uma superfície a altura de elevação começa a medir-se a partir desta, até à superfície inferior da carga no instante final de elevação da mesma. Poderá ainda ser aferida através do deslocamento de um ponto conhecido da carga, sabendo-se qual o valor da sua ordenada antes do início da pega, aquando em repouso, e o valor da sua ordenada no instante final de elevação da carga. A subtração destes valores irá resultar na altura da elevação que a carga teve. Para tal, considerou-se a "frame 806" como o instante em que a carga estava em repouso e, com base no fator da uniformidade bilateral, admitindo o valor da altura de elevação da carga como o valor médio entre as alturas de elevação da carga calculadas para o lado esquerdo e lado direito do corpo do indivíduo , utilizaram-se os marcadores "BOX3" e "BOX4", tal como é possivel verificar pela figura 31, como pontos de referência para definir o instante zero antes da elevação da carga. Através da figura 32 é possivel perceber-se que a "frame 1263" representa o momento em que o indivíduo completou a manobra de elevação da carga sendo que, a nível de altura, o marcador "BOX3" encontra-se a 0,9199m do chão e o marcador "BOX4" encontra-se a 0,9018m.

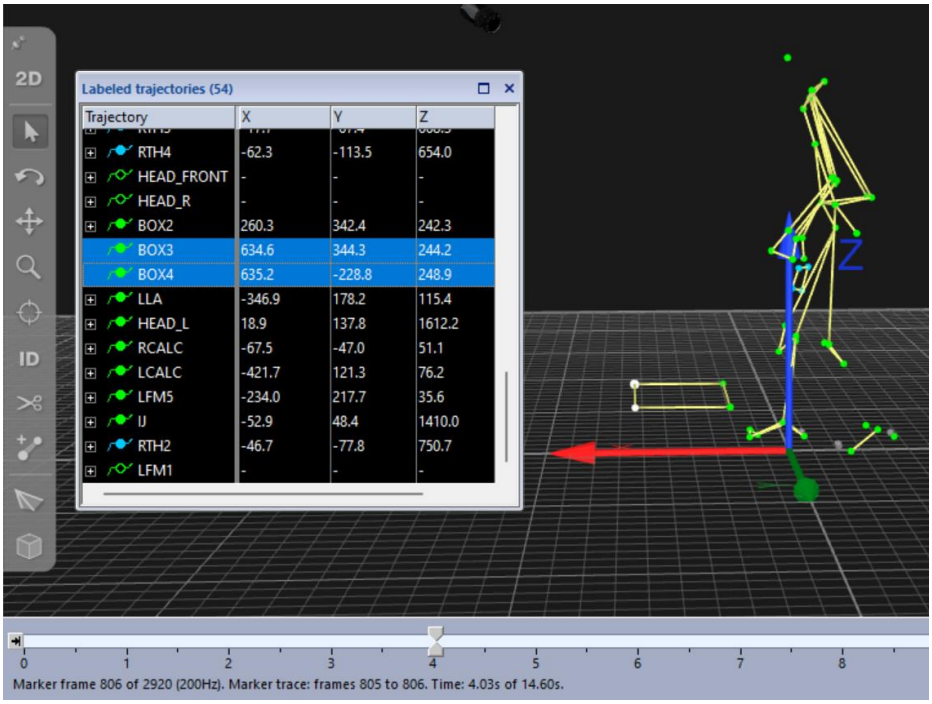


Figura 31 - Identificação do frame e do marcador representativo da altura de elevação da carga.

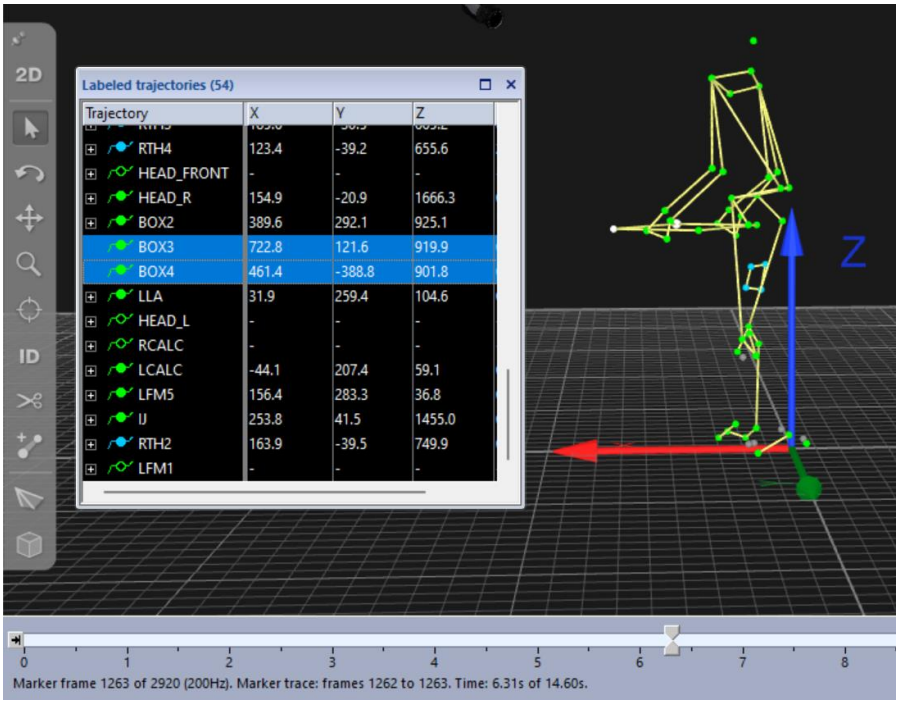


Figura 32 - Identificação do frame em que foi completada a manobra de elevação da carga.

A equação 2 representa a o cálculo da altura de elevação.

Equação 8 – Cálculo da altura de elevação, em metros.

$$d = \frac{(0{,}9199 - 0{,}2442) + (0{,}9018 - 0{,}2489)}{2} = 0{,}6643m$$

Desta forma, a altura de elevação da carga desde o chão até ao instante final de elevação, é de 0,6643m.

- **Localização vertical (v)**

A altura desde o chão até ao ponto em que as mãos seguram a carga, é conseguida diretamente a partir dos dados de trajetória do QTM, através do valor do eixo do z.

A partir dos dados da coordenada z do marcador LLH e do marcador RLH, que representam respetivamente um dos marcadores da mão esquerda e outro da mão direita, e considerando o instante "frame 1665", em que o indivíduo se encontrava a transportar a carga, é possivel aferir a localização vertical da pega.

Este resultado prevê o valor médio entre os obtidos para cada um dos respetivos marcadores, uma vez que deverá ser considerada a questão da uniformidade bilateral.

A figura 33 permite visualizar as coordenadas dos marcadores LLH e RLH, bem como os respetivos marcadores.

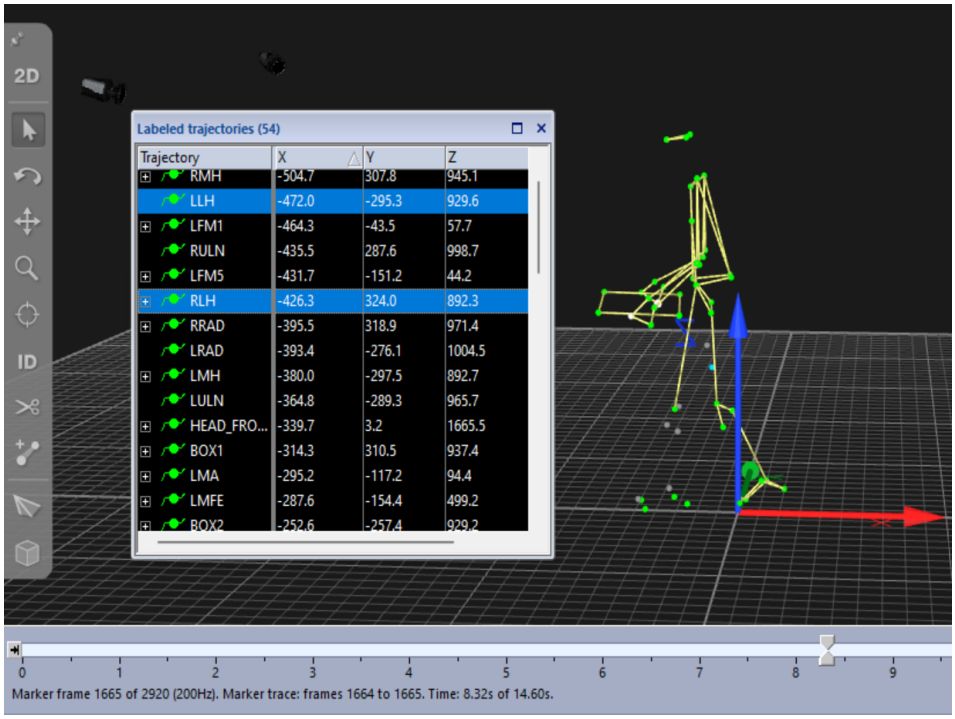


Figura 33 - Identificação dos marcadores representativos da localização vertical da pega, em QTM.

A equação 3 representa a o cálculo da localização vertical.

Equação 9 – Cálculo da localização vertical, em metros.

$$v = \frac{0{,}9296 + 0{,}8923}{2} = 0{,}9110m$$

O valor associado á localização vertical é de 0,9110m.

- **Frequência de Levantamento (f)**

Relativamente à frequência de levantamentos, a mesma é obtida através da obtenção do número médio de elevações efetuadas por minuto durante a realização de determinada tarefa. De acordo com a captura efetuada pelo QTM, a tarefa simulada teve a duração de 14,60 segundos (s), ou seja de 0,243 minutos. Desta forma, temos que, considerando como valor de referência 1 minuto e observando a equação 10, um valor de levantamento de 4 / minuto (min).

Equação 10 - Cálculo da frequência de levantamento, em frequências por minuto.

$$f = \frac{1}{(14{,}60/60)} = 4/min$$

Considerando uma duração da tarefa de 1 hora, é possivel verificar através da figura 34, que o valor do multiplicador da frequência é de 0,84.

Table A.1 — Values of frequency multiplier (f_M) of Equation (A.1)

Frequency of lifting number of lifts/min	Values of f_M					
	$t_L \leqslant 1$ h		1 h < $t_L \leqslant$ 2 h		2 h < $t_L \leqslant$ 8 h	
	$v < 0{,}75$ m	$v \geqslant 0{,}75$ m	$v < 0{,}75$ m	$v \geqslant 0{,}75$ m	$v < 0{,}75$ m	$v \geqslant 0{,}75$ m
$\leqslant 0{,}2$	1,00	1,00	0,95	0,95	0,85	0,85
0,5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,72	0,45	0,45
5	0,80	0,80	0,60	0,60	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,50	0,50	0,27	0,27
7	0,70	0,70	0,42	0,42	0,22	0,22
8	0,60	0,60	0,35	0,35	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,30	0,30	0,00	0,15
10	0,45	0,45	0,26	0,26	0,00	0,13
11	0,41	0,41	0,00	0,23	0,00	0,00
12	0,37	0,37	0,00	0,21	0,00	0,00
13	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
> 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 34 – Valor do multiplicador f_M, de acordo com a tabela A.1 da ISO 11228-1:2003.

- **Qualidade da Pega (c_M)**

A nível da qualidade pega, consideraram-se os seguintes fatores:

- Presença de pegas plásticas que permitem que a pega da carga seja firme, que haja um bom controlo sobre a mesma, no entanto, as mesmas são lisas e a sua disposição em altura, próximas da bordadura da caixa utilizada como meio de carga, faz com que a força a aplicar no momento da elevação e do transporte possa ser mais elevada;
- Dimensão e forma da carga não interferem com a visão nem movimentação do indivíduo;
- Não há evidências de ambiente de trabalho desfavorável, nomeadamente piso escorregadio ou irregular ou temperaturas extremas.

Esta avaliação foi efetuada no local do ensaio, através de observação direta quer á estrutura que sofre pega bem como ao meio ambiente envolvente onde decorre o ensaio.

A figura 35[10] representa um exemplo da caixa utilizada como meio de carga durante o ensaio.

[10] https://www.fordemand.pt/caixa-plastica-para-fruta



Figura 35 - Exemplo da caixa utilizada durante o ensaio.

Considerando as variáveis mencionadas e uma altura da pega de aproximadamente 0,91m (valor da localização vertical – equação 3), através da tabela 9 é possivel constatar-se que a pega é considerada como moderada, resultando num valor de CM = 0,95.

Tabela 9 – Avaliaçã da qualidade da pega, de acordo com a Tabela A.2 da ISO 11228-1:2003.

Qualidade da pega	**Valores de C_M**	
	Altura < 0,75m	Altura ≥ 0,75m
Boa	1,00	1,00
Moderada	0,95	1,00
Fraca	0,90	0,90

- **Peso da carga (w)**

Relativamente ao peso da carga, tal como já mencionado no ponto 3.1, temos que w = 3kg.

- **Rotação do Tronco (A):**

A rotação do tronco prevê um resultado expresso em ângulos, e como tal, procede-se ao seu cálculo através da aplicação do software MATLAB, considerando os valores das coordenadas aferidos anteriormente no QTM.

Inicialmente definem-se quais os marcadores de referência necessários para o cálculo da rotação do tronco e posteriormente calculam-se os respetivos vetores de referência e, a partir do produto escalar dos mesmos, é possivel aferir o respetivo ângulo. Os marcadores escolhidos para analisar a rotação do tronco, são respetivamente o RAC e o LAC, que representam os ombros do indivíduo em análise e o LASIS e o RASIS, que se situam na zona pélvica e que integram uma das principais estruturas ósseas do quadril. O momento

de rotação analisado compreendeu o ponto inicial da postura de rotação adotada pelo indivíduo após a pega da carga, sendo desta forma caraterizado pela “frame 1186”. O valor auferido para a rotação do tronco foi de (A) = 0º. Este valor para o ângulo de rotação do tronco prevê que o indivíduo, durante a elevação da carga, mantém o tronco numa posição neutral, não adotando posturas que possam propiciar significativamente o risco de desenvolvimento de lesões, especialmente na zona da coluna vertebral, uma vez que, quanto maior o ângulo de rotação de tronco maior o risco associado.

A figura 36 representa um trecho do código em MATLAB que permitiu calcular o ângulo de rotação do tronco no ponto inicial de rotação. O código de programação do ângulo de rotação encontra-se no Apêndice II do presente documento.

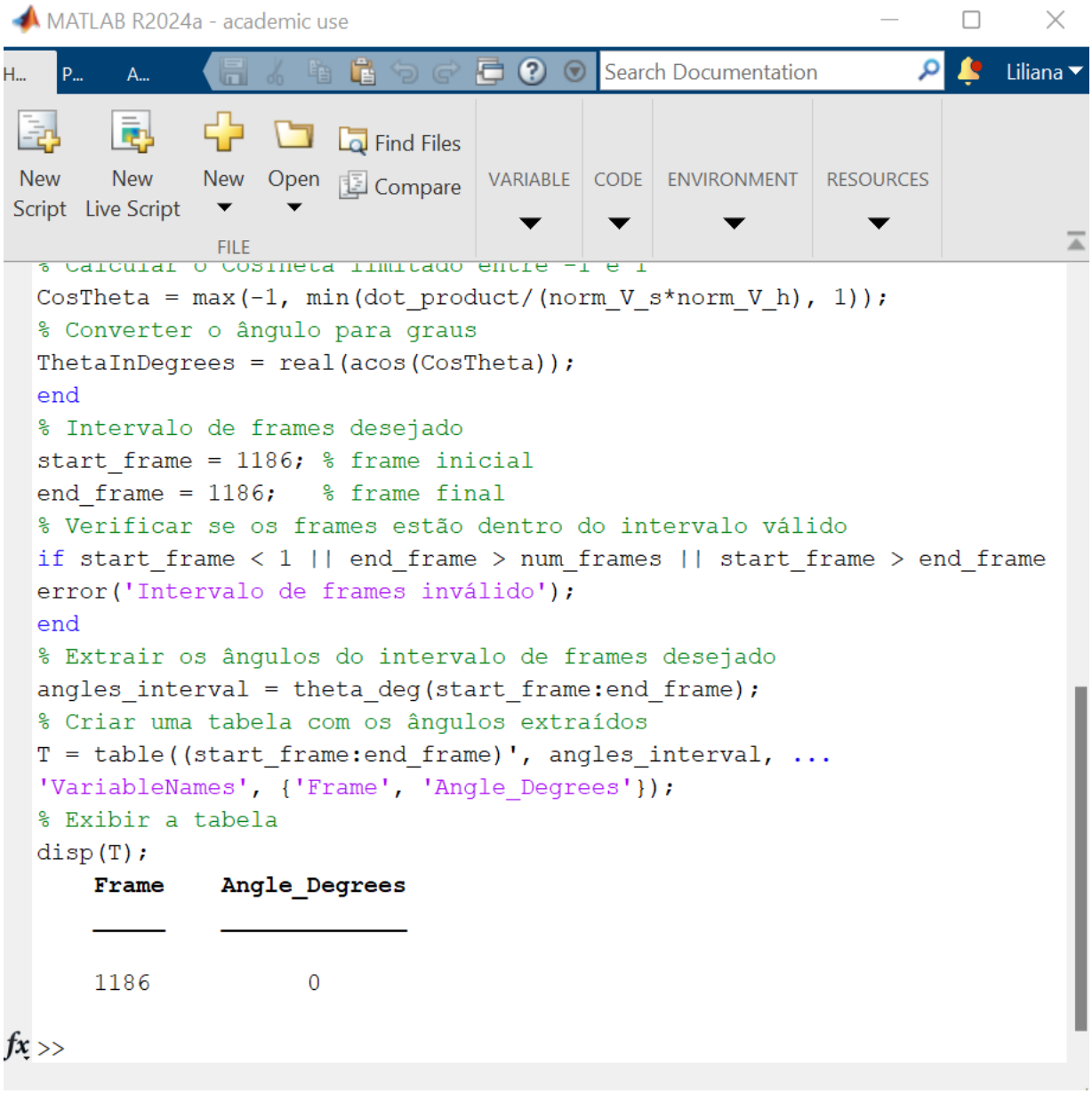


Figura 36 - Parcela de código em MATLAB, gerado para aferir os ângulos de rotação do tronco.

4.5.2 Cálculo da massa recomendada

Considerando a ISO 11228-1:2003, o cálculo da massa recomendada que pode ser levantada em segurança é realizado de acordo com a equação 4.

De acordo com os multiplicadores necessários para efetuar o cálculo de m_R, procedeu-se à aferição dos mesmos através dos dados anteriormente calculados, tendo resultado nos valores presentes na Tabela 10.

Tabela 10 - Valor dos multiplicadores da equação da massa recomendada (m_R).

Multiplicador	Valor	Observações
m_{ref}	25	Tabela 7
h_M	0,6857	
v_M	0,9517	
d_M	0,8877	
α_M	1	
f_M	0,84	
c_M	0,95	

Desta forma, considerando os valores da tabela 9 e a equação 1 da massa recomendada, temos aproximadamente que $m_R \leq 11{,}56$Kg.Considerando os padrões de trabalho apresentados no estudo de caso, a carga máxima que pode ser elevada em condições de segurança, é de 11,56Kg, ou seja, cargas que excedam este valor levam a que o trabalhador incorra num risco acrescido de desenvolvimento de lesões e como tal seria necessária uma alteração às condições de trabalho. O cálculo da massa recomendada apresenta-se desta forma como um valioso indicador para controlar as condições de segurança a que os trabalhadores estão sujeitos durante a movimentação manual de cargas.

O cálculo da massa recomendada pode ser feito manualmente ou através da elaboração de código em Matlab, tal como é possível constatar pela figura 37. O código gerado encontra-se expresso no Apêndice II do presente documento.

4.5.3 Índice de elevação (LI)

Relativamente ao valor do índice de elevação, através do valor calculado da massa recomendada (m_R) e considerando como 3Kg o peso real da carga manipulada (w) para este estudo de caso , temos que LI = 0,26.

De acordo com este valor de LI e considerando a tabela 6, temos que a exposição à tarefa de elevação da respetiva carga em análise, é considerada aceitável para a maioria dos trabalhadores, não estando previstas quaisquer consequências para a sua saúde. O cálculo do LI foi efetuado através de código Matlab, tal como é possivel visualizar na figura 37.

A versão integral do código encontra-se expresso no Apêndice II do presente documento.

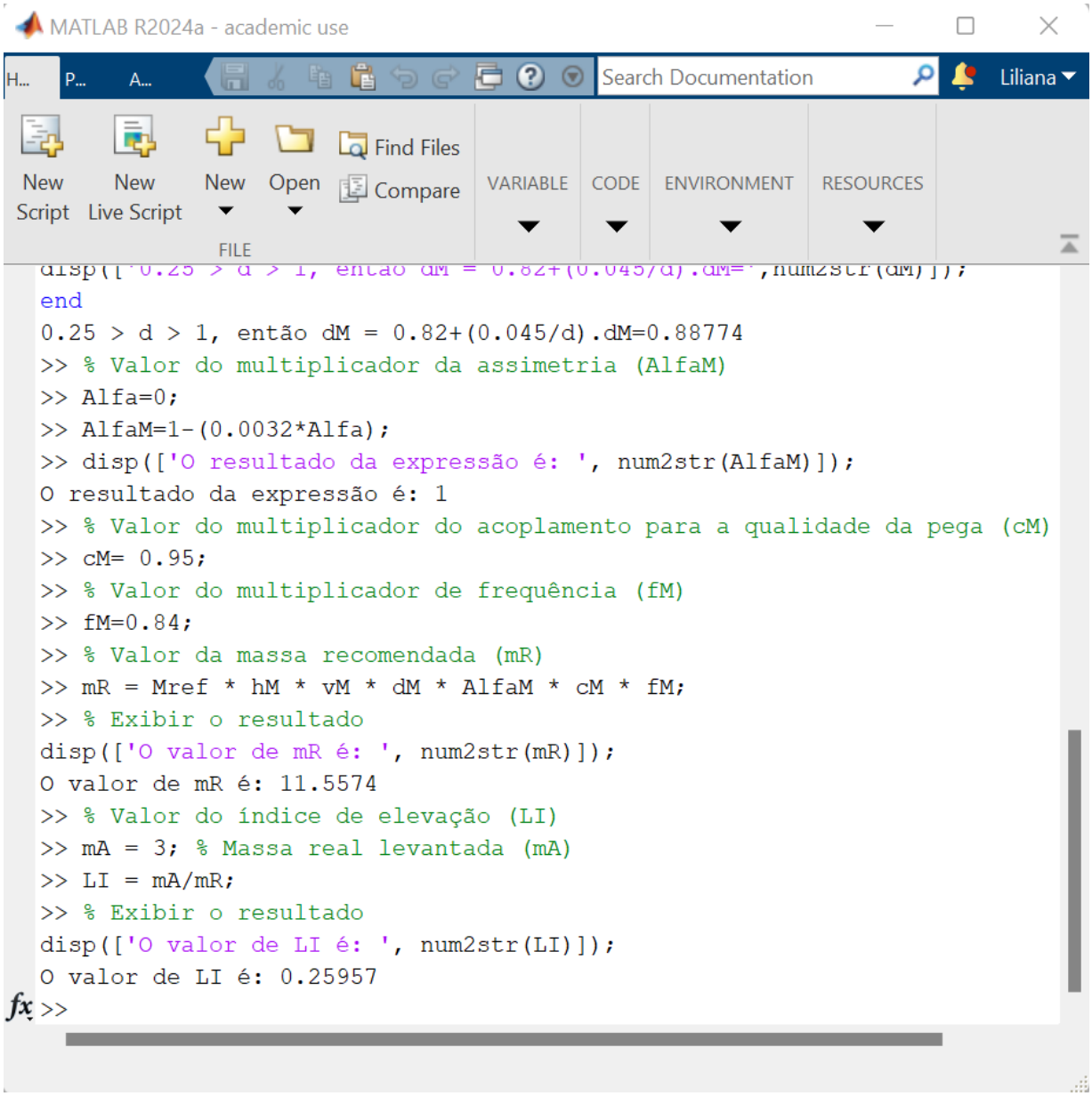


Figura 37 – Excerto do código em Matlab, gerado para o calculo da massa recomendada e do índice de elevação.

5 DISCUSSÃO

O objetivo principal da presente dissertação visa analisar do risco de desenvolvimento de LMERT em tarefas associadas à movimentação e elevação manual de cargas, através de uma prova de conceito que pretendia demonstrar a viabilidade de aplicação do referencial normativo ISO 11228-1:2003 a dados recolhidos a partir de um sistema de captura de movimento em tempo real.

Relativamente à norma enunciada, a mesma prevê diretrizes, tal como já enunciado anteriormente, para a avaliação de tarefas caraterizadas pela movimentação e elevação manual de cargas, considerando pertinentes, informações relativas nomeadamente à frequência dos levantamentos de carga, às distâncias horizontais, verticais e de elevação, entre outros fatores que interferem diretamente com as condições de segurança das tarefas.

É através da consideração destes fatores que a ISO 11228-1:2003 pretende dar orientações relativamente à massa recomendada possível de ser elevada em condições de segurança pelos trabalhadores bem como se a tarefa de elevação de cargas que está a ser levada a cabo apresenta um potencial risco de desenvolvimento de lesões. Baseada nesta ótica, foi prevista a aferição dos valores relativos à massa recomendada e ao índice de elevação como forma de realizar uma avaliação ergonómica rápida e fiável à tarefa.

A integração de um sistema de captura de movimento em tempo real através da utilização de marcadores, previu que todos os valores aferidos relativamente às variáveis que integram as fórmulas de cálculo da massa recomendada e do índice de elevação fossem mais precisos, com uma margem de erro associada bastante reduzida, sendo que os dois momentos apenas que podem influenciar este valor, estão diretamente relacionados com o momento da calibração do sistema e com a utilização dos marcadores que, por eventual falta de reconhecimento por parte do sistema de câmaras durante a captura ou por má colocação inicial poderiam de alguma forma afetar os resultados finais. No entanto, é possível afirmar-se claramente que a utilização de sistema MoCap para recolha inicial de dados com vista à realização de análises ergonómicas é uma ferramenta extremamente valiosa e necessária, de forma a garantimos análises o mais concordantes possível com a situação real dos postos de trabalho.

Relativamente aos resultados, estes demonstram que a informação passível de ser recolhida diretamente de um sistema de captura de movimento em tempo real, neste caso em específico do Qualisys Motion Capture, e pertinente para aplicação da respetiva norma em análise, é de uma forma geral possível de forma direta. No caso em concreto do ângulo de rotação do tronco, foi necessária a utilização de um algoritmo para processamento de alguns dados, nomeadamente das coordenadas dos marcadores identificadores dos ombros (RAC e LAC) e do quadril (RASIS e LASIS) provindos do QTM e processados em Matlab.

Quanto aos resultados aferidos na análise ergonómica simulada em ambiente laboratorial, os mesmos mostraram-se conformes, sendo que a massa real da carga em análise possuía 3kg e a massa recomendada apresenta um resultado de igual ou inferior a 11,56kg.

Quanto ao índice de elevação o resultado foi de que a tarefa executava era aceitável para a maioria dos trabalhadores, não apresentando consequências para a saúde dos mesmos. Importa referir que este resultado é definido para um público alvo saudável, sendo que, ainda que considere fatores como o sexo e a idade, previamente abordados para definição da massa de referência, não prevê uma abordagem à condição prévia da saúde dos trabalhadores, ou seja, eventualmente se os mesmos apresentam um histórico de lesões

musculoesqueléticas. De uma forma genérica, deveria existir um fator de correção, ou seja, a exemplo, um novo multiplicador que integrasse a fórmula da massa recomendada, que refletisse o estado de saúde do trabalhador e a sua predisposição para o potencial desenvolvimento de LMERT.

Quanto ao objetivo base desta prova de conceito, o mesmo foi cumprido, no sentodo de que foi possível a realização de uma análise ergonómica em tempo-real com recurso a um sistema MoCap, de acordo com a ISO 11228-1:2003.

Relativamente aos objetivos secundários, foi conseguida a a análise de movimento de corpo inteiro bem como foi demonstrado ser viável a aplicação do referencial normativo ISSO 11228-1:2003 aos dados recolhidos a partir do sistema MoCap em tempo-real.A redução das LMERT prevê-se que seja o resultado final da implementação da metodologia preconizada para a elaboração de uma análise ergonómica. Ainda que a análise efetuada no âmbito da presente prova de conceito esteja direcionada para a ISO 11228-1:2003, a metodologia poderá ser adaptada para realização de análises ergonómicas assentes nos restantes referenciais existentes. O princípio é sempre baseado na utilização de um sistema de captura de movimento em tempo real e na aferição direta, caso possível, dos resultados pretendidos pelas respetivas normas como forma de avaliar as tarefas em questão.

Na inviabilidade de ser possível a aferição direta de todos os resultados pretendidos, incorpora-se nomeadamente o algoritmo em *Matlab*, tratando-se de uma ferramenta capaz de produzir dados nomeadamente relativos a ângulos, a forças, entre outros. Importa ressalvar que, no caso de estudo em concreto não houve a necessidade de obter valores relativos a forças aplicadas, no entanto para a aplicação de outros sistemas normativos poderão ser necessários tais valores e como tal, deverá ser utilizada uma plataforma de força aquando a simulação da tarefa no momento da captura de movimento.

De forma a ser viável esta ideologia, o algoritmo deveria ser previamente alimentado com um conjunto de informações intrínsecas, considerando dados pré-definidos nomeadamente relativos a dimensões e pesos dos objetos possíveis de ser carregados, de dados respetivos aos trabalhadores existentes, nomeadamente a idade e o sexo, que o algoritmo necessita de ter em sua posse de forma a ser capaz de dar resposta a todas as etapas de decisão que a ISO 12295:2014 prevê e desta forma conseguir construir uma linha de raciocínio lógico e definir se as tarefas alvo de análise necessitam de ser efetivamente avaliadas respetivamente pelas normas ISO 11228-1:2003, ISSO 11228-2:2007, ISO 11228-.3:2007 e ISO 11226:2000. A estrutura do algoritmo proposto para a realização de análise ergonómica em tempo real e em contexto real de trabalho, encontra-se no Apêndice III do presente documento.

Caso essa necessidade se mostrasse ser uma realidade então aí o sistema de captura e análise de movimento iria desenvolver uma análise ergonómica de acordo com o referencial normativo mais indicado para a tarefa em análise e iria, consoante o resultado da avaliação obtido, tomar uma decisão que poderia passar por exemplo pelo fornecimento de *feedback* em tempo real aos trabalhadores (ex: lembrar o trabalhador de alinhar a sua postura ou fazer uma breve pausa de 5 minutos).Uma análise ergonómica em tempo real com sistema de *feedback* aos trabalhadores iria impulsionar os mesmos a desempenharem um papel proativo na sua própria saúde e bem-estar.

Relativamente a uma abordagem psicossocial, uma vez que se prevê uma análise ergonómica com recurso a um sistema de captura de movimento, importa referir a importância de uma abordagem ao Regime Geral de Proteção de Dados (RGPD), devendo ser dada a conhecer aos trabalhadores envolvidos na análise, toda

a informação inerente á recolha e tratamento de dados destes trabalhadores, bem como deverá ser assegurado o devido companhamento contínuo dos mesmos, no sentido de se perceber se de alguma forma a implementação destes sistemas poderá desenvolver uma perceção de invasão de privacidade, ao ponto de se sentirem controlados e de se retraírem, levando á existência de eventuais situações de desconforto que a presença de câmaras poderá provocar sobre os trabalhadores.

5.1 Limitações

5.1.1 Limitações de Estudo

Relativamente às limitações que surgiram na presente prova de conceito, ressalva-se a necessidade de utilização de um software capaz de processar os dados colhidos em QTM, de forma a aferir certos valores necessários á realização de uma avaliação ergonómica segundo a ISO 11228-1:2003, neste caso em concreto do MATLAB.

5.1.2 Limitações do Sistema

No que toca às limitações existentes inerentes ao sistema adotado, tratando-se de uma análise ergonómica que prevê o uso de um sistema de captura de movimento, se como tal, os custos associados aos equipamentos que o compõem são relativamente onerosos. Quanto ao software necessário para efetuar a captura e a análise dos dados, também é necessária a obtenção de uma licença, pelo que acaba por se traduzir em mais um custo associado.

Além dos custos associados à obtenção do sistema de captura de movimento e do respetivo software de captura e análise, é também necessário ser tido em conta que, para incrementar e utilizar este tipo de tecnologia, deverá existir um corpo técnico especializado não só nos sistemas mas também nos referenciais normativos de ergonomia e na área da biomecânica.

A calibração do sistema de captura de movimento é uma etapa que requer alguma sensibilidade, uma vez que é necessário garantir que não há interferência com o sistema após calibração e a mesma deverá ser realizada sistematicamente de forma a evitar o aumento da margem de erro associado. Em situações que haja alguma perturbação com o sistema de captura após ser calibrado, a calibração deverá ser repetida.

Tal como mencionado ainda no presente documento, a calibração do sistema expira passadas 24 horas após a sua realização sendo que, é recomendada uma nova calibração a cada 5 horas e ainda em situações em que o resíduo de rastreamento seja superior a 3mm, também deverá ser realizada uma nova calibração.

Desta forma, o processo de calibração do sistema de captura de movimento pode ser considerado uma limitação ao fluxo da análise em tempo real uma vez que interfere diretamente na qualidade dos resultados obtidos e carece da intervenção sistemática por parte de um corpo técnico especializado.

Poderá existir uma falha no reconhecimento dos marcadores reflexivos por parte do sistema de câmaras durante a captura, derivado por exemplo de uma má colocação inicial.

Este tipo de análises ergonómicas não é viável em todos os contextos laborais, não sendo por exemplo exequível na área da construção civil, em que as frentes de trabalho são dinâmicas, não existindo postos de trabalho fixos e bem definidos e além disso as frentes de obra não fornecem condições de aplicabilidade do sistema em si, nomeadamente a nível de condições de instalação do sistema ou de calibração do mesmo.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

A presente dissertação baseou-se numa prova de conceito baseada na aplicação de uma análise ergonómica, segundo a norma ISO 11228-1:2003, com recurso a dados recolhidos através de um sistema de captura de movimento e o resultado alcançado demonstrou a viabilidade de todo o processo. A tarefa que deu corpo à prova de conceito foi baseada no transporte e elevação de uma carga, sendo que os resultados obtidos no final da análise ergonómica avaliaram a tarefa como aceitável e sem previsão de consequências para a saúde dos trabalhadores. A razão pela qual esta tipologia de tarefa foi escolhida prende-se com a grande incidência a nível de LMERT.

De uma forma geral, é possível afirmar que a metodologia adotada para a realização da análise ergonómica é exequível e capaz de formular resultados mais rigorosos e com uma maior precisão associada levando a que haja uma alavancagem na identificação e mitigação dos riscos ergonómicos. Tratando-se da aplicação de um sistema de captura baseado em tecnologia e um processamento de dados baseado também em tecnologia e em cálculo direito, origina desta forma uma análise objetiva, eliminando o fator da subjetividade associado a métodos de observação direta.

A nível de aferição dos resultados da análise, o processo não é acessível, havendo a necessidade de conhecimento dos referenciais normativos de ergonomia, sendo que a etapa mais complexa se prende com o cálculo do ângulo de rotação do tronco através do software Matlab, mas ainda assim não se trata de um processo complexo, sendo alcançado através de um código de programação relativamente simples.

A implementação de análises ergonómicas baseadas na aplicação de sistemas tecnológicos em ambientes laborais, prevê impulsionar a melhoria das condições de trabalho, com enfoque neste caso a nível da ergonomia dos postos de trabalho e das tarefas executadas nesse âmbito, a que os trabalhadores estão sujeitos diariamente, frisando que grande parte do dia de um trabalhador é passado no trabalho.

É ainda necessário considerar a implementação de políticas educacionais que visam a formação e informação dos trabalhadores, incentivando-os a tomar um papel ativo na sua própria saúde e demonstrando-lhes que fazem parte da solução.

Sempre que possível deverá ainda ser tido em conta a mecanização de certas tarefas, como forma de evitar ou auxiliar à movimentação manual de cargas.

6.2 Perspectivas Futuras

A nível de perspetivas futuras poderemos considerar a prática de custos mais acessíveis associados à tecnologia de captura de movimento através de câmaras, de forma a promover uma maior aderência por parte das entidades laborais.

Pegando na abordagem realizada na presente dissertação e perspetivando uma aplicação prática em contexto real de trabalho, recorrendo à incrementação de algoritmos, poderia ser traçado uma metodologia de análise ergonómica com recurso a captura de movimento em tempo real em que, o software de captura

e análise, a exemplo do QTM neste caso de estudo em concreto, estivesse programado com um algoritmo ergonómico baseado na ISO 12295:2014 e como tal, fosse capaz de efetuar uma primeira triagem preliminar às tarefas de acordo com a sua tipologia, considerando para análise ergonómica somente as que estivessem enquadradas na respetiva norma e, no caso de se enquadrarem, iria numa segunda abordagem, aplicar as *Key Questions* e a "Avaliação Rápida" presentes na respetiva norma e caso a tarefa apresentasse um risco efetivo aí o sistema iria realizar uma análise ergonómica baseada nos referenciais normativos existentes.

Ainda no âmbito dos algortmos, o mesmo poderia dar um feedback em tempo real aos trabalhadores consoante o resultado da análise ergonómica efetuada.

Considerando que a captura de movimento envolve pessoas e que estas sabem que os seus movimentos estão a ser monitorizados, poderá haver desta forma uma tendência voluntária ou involuntária por parte das mesmas, em realizar as tarefas de uma forma não natural e levar à deturpação dos resultados obtidos. Ainda neste âmbito, existe o desconforto que a presença de câmaras poderá provocar sobre os trabalhadores.

Importa ainda referir a necessidade de implementação de políticas direcionadas para a saúde ocupacional e criação de planos de formação e informação aos trabalhadores direcionados para a prevenção das LMERT.

7 REFERÊNCIAS

About Ergonomics and Work-Related Musculoskeletal Disorders. (2024, February 21). Ergonomics and Musculoskeletal Disorders. https://wwwcdc.gov/niosh/ergonomics/about/index.html

A g ê n c i a E u r o p e i a p a r a a S e g u r a n ç a e S a ú d e n o T r a b a l h o. (2007). *Introdução às lesões músculo-esqueléticas* (p. 71) [Journal-article]. https://osha.europa.eu/sites/default/files/2021-10/Factsheet_71_-_Introduction_to_Work-Related_Musculoskeletal_Disorders.pdf

Alsubaie, A. M., Martinez-Valdes, E., De Nunzio, A. M., & Falla, D. (2021). Trunk control during repetitive sagittal movements following a real-time tracking task in people with chronic low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *57*, 102533. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102533

Anagnostopoulos, C., Arvanitis, G., Piperigkos, N., Lalos, A., & Moustakas, K. (n.d.). A Multi-stereo Camera System for Improving Physical Ergonomics in Human-Robot Collaboration Scenarios [Review of *A Multi-stereo Camera System for Improving Physical Ergonomics in Human-Robot Collaboration Scenarios*]. *ERCIM NEWS*. https://ercim-news.ercim.eu/en132/special/a-multi-stereo-camera-system-for-improving-physical-ergonomics-in-human-robot-colaboration-scenarios

Bang, K. M., Berman, D. W., Boelter, F. W., & CPWR - The Center for Construction Research and Training. (2023). *Asbestos: An Interdisciplinary Annotated Bibliography*. https://www.cpwr.com/wp-content/uploads/Asbestos-annotated-bibliography.pdf

Ding, Z., Li, W., Ogunbona, P., & Qin, L. (2019). A real-time webcam-based method for assessing upper-body postures. *Machine Vision and Applications*, *30*(5), 833–850. https://doi.org/10.1007/s00138-019-01033-9

Ergonomics [Recurso Eletrónico] : Application Document for International Standards on Manual Handling (ISO 11228-2 and ISO 11228-3) and Evaluation of Static Working Postures (ISO 11226) : ISO/TR 12295: 2014. Geneva: ISO, 2014. Print.

Ergonomics [Recurso Eletrónico] : Manual Handling : ISO 11228-1: 2003 . Part 1 . Lifting and Carrying. Geneva: ISO, 2003. Print.

Esteves, C. A. G. (2013). *LESÕES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS RELACIONADAS COM O TRABALHO*. https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69451/2/27036.pdf

Fatores de risco físicos e biomecânicos causadores de LMERT: Metodologias de amostragem e estudos realizados. (2012). In *Global Methodology: LL-LACTOGAL Project* (pp. 54–56) [Book]. https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2021/04/Apresentacao_Webinar_LNEG_Joana-Guedes_FEUP.pdf

Glossário | Safety and health at work EU-OSHA. (n.d.). https://osha.europa.eu/pt/themes/musculoskeletal-disorders/glossary

I Kourinkaetal. (1995). *Work-Related Musculoskeletal Disorders Wmsds*. CRC Press.

Lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho: estatísticas. (2020, September 12). Safety and Health at Work EU-OSHA. http://osha.europa.eu/pt/publications/work-related-musculoskeletal-disorders-msds-statistics

Liu, P., & Chang, C. (2022). Simple method integrating OpenPose and RGB-D camera for identifying 3D body landmark locations in various postures. *International Journal of Industrial Ergonomics, 91*, 103354. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103354

Mondal, K., Majumdar, D., Pal, M. S., Sahrawat, T. R., & Kumar, B. (2019). Association of Manual Weight Lifting Tasks with Low Back Pain: A Pilot Study. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. https://doi.org/10.7860/jcdr/2019/39691.12569

O IMPACTO DA ERGONOMIA NA PRODUTIVIDADE – MWL – Formação e Consultoria. (2023, June 21). https://mwl.pt/o-impacto-da-ergonomia-na-produtividade/

OMS/OIT: Quase 2 milhões de pessoas morrem a cada ano de causas relacionadas ao trabalho. (2024, February 1). International Labour Organization. https://www.ilo.org/pt-pt/resource/news/omsoit-quase-2-milhoes-de-pessoas-morrem-cada-ano-de-causas-relacionadas-ao

Parsa, B., Samani, E. U., Hendrix, R., Devine, C., Singh, S. M., Devasia, S., & Banerjee, A. G. (2019). Toward Ergonomic Risk Prediction via Segmentation of Indoor Object Manipulation Actions Using Spatiotemporal Convolutional Networks. *IEEE Robotics and Automation Letters*, *4*(4), 3153–3160. https://doi.org/10.1109/lra.2019.2925305

Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2006). *Bodyspace : anthropometry, ergonomics, and the design of work*. Taylor & Francis.

Rodrigues, P. B., Xiao, Y., Fukumura, Y. E., Awada, M., Aryal, A., Becerik-Gerber, B., Lucas, G., & Roll, S. C. (2022). Ergonomic assessment of office worker postures using 3D automated joint angle assessment. *Advanced Engineering Informatics*, *52*, 101596. https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101596

APÊNDICES

Apêndice I

Tabela 11. Resumo dos dados dos artigos incluídos (n=7).

Autor, ano	Título	País /Região	Campo de aplicação	Perguntas de pesquisa/ Objetivos	Metodologia															Principais resultados	Limitações	Vieses detetadas
					Período de tempo	Laboratório	Extensão do experimento	População	Amostra	Tipo de seleção	Género	Mão dominante	Software/ Algoritmo/ Técnica estatística/ Métodos/ Ferramentas	Variáveis (medidas)	Equipamentos	Modelo ergonómico	Resumo do ensaio	Aprovação protocolo experimental	Taxa de amostragem			
Behnoosh Parsa, Ekta U. Samani, Rose Hendrix, Cameron Devine, Shashi M. Singh, S. Devasia, A. Banerjee , 2019	Toward ergonomic risk prediction via segmentation of indoor object manipulation actions using spatiotemporal convolutional networks	USA	Ergonomics	Desenvolver um framework automatizado de avaliação de riscos ergonômicos em tempo real para a manipulação de objetos em ambientes internos. O framework tem como objetivo prever riscos ergonômicos associados a tarefas de manipulação de objetos e segmentar ações de manipulação usando redes convolucionais espaço-temporais. A pesquisa visa abordar o aspecto crítico da segurança ergonômica na colaboração entre humanos e robôs em ambientes de logística e manufatura.	-	-	Os conjuntos de dados TUM Kitchen e University of Washington Indoor Object Manipulation (UW IOM).	Adultos entre os 18-25 anos	20	-	15 homens e 5 mulheres	-	VGG16 modeL TUM Kitchen dataset UW IOM dataset Bi-directional Long Short-Term Memory (Bi-LSTM) SVM Markerless full body motion tracking system TCN Windows 10 equipado com 3.7GHz 8 Core Intel Xeon W-2145 CPU, GPU ZOTAC GeForce GTX 1080 Ti e 64 GB RAM TCN MATLAB MoCap Toolbox	Ângulos de extensão, flexão e abdução e ângulos de flexão do tronco	4 Câmaras RGB-D 1 Motions sensors UW IOM	REBA	Para cada participante (vídeo), a pontuação REBA é calculada para todos os quadros usando limiares específicos para os ângulos de flexão do tronco, torção e abdução. A mediana das pontuações REBA atribuídas a todos os quadros pertencentes a uma ação específica é calculada para o conjunto de dados UW IOM, e a mediana sobre todos os participantes é utilizada para determinar a pontuação REBA final para essa ação. Além disso, o modelo VGG16 pré-treinado para extração de características espaciais é treinado por um número específico de épocas com um tamanho de passo definido nos conjuntos de dados TUM Kitchen e UW IOM.	Comitê de ética ou conselho de revisão institucional (IRB)	-	O estudo sugere que a abordagem proposta possui potencial para aplicação prática em configurações do mundo real para avaliar os níveis de risco ergonômico em ações de manipulação de objetos. Além disso, ela tem a capacidade de fornecer informações valiosas para intervenções destinadas a reduzir o risco de distúrbios musculoesqueléticos .	Tamanho de amostra limitado, diversidade de ações e diversidade de participantes.	-
Mondal K, Majumdar D, Pal M, Sahrawat T, Kumar B 2019	Association of Manual Weight Lifting Tasks with Low Back Pain: A Pilot Study	India	Ergonomics	Quantificar as respostas cinéticas de tarefas de elevação usando técnica de coleta de dados em tempo real e descobrir se os dados cinéticos em tempo real corroboraram com os dados cinéticos de predição 2D analisados usando imagens 2D de MWL gravadas simultaneamente.	maio-junho de 2015	Laboratório de Ergonomia do Instituto de Fisiologia e Ciências Aliadas de Defesa (DIPAS)	-	Adultos jovens, saudáveis, com idade entre 20 e 30 anos, sem exposição prévia a tarefas de levantamento de carga sem histórico de cirurgia ou incidentes de distúrbios musculoesqueléticos.	8	Voluntários escolhidos de forma aleatória	-	-	BioWare® (Tipo 2812A1-3, versão 3.24 (7648)}) Ergomaster (Lift Analysis) Microsoft Excel Análise de variância (ANOVA) Teste post-hoc de Bonferroni	Forças compressivas totais e devido à carga exercida Forças cisalhantes totais e devido à carga exercida no disco L5/S1 da coluna vertebral altura do indivíduo peso do indivíduo força de preensão manual do indivíduo	1 Dinamômetro de aperto manual Klister Force Plate modelo nº 9286 AA 1 Sony Handy Cam PD170	-	Cada participante levantou cargas de 10 kg e 20 kg na frequência de um levantamento por minuto e quatro levantamentos por minuto, em diferentes alturas, ou seja, Floor to Knuckle (FK), Knuckle to Shoulder (KS) e Floor to Shoulder (FS), respectivamente. , em pé sobre uma plataforma de força. . As tarefas de levantamento foram realizadas em um rack de madeira com duas prateleiras de madeira correspondentes à altura média dos nós dos dedos e dos ombros dos participantes (72,0 cm, 141,0 cm, respectivamente). Um número total de 30 tentativas foi realizada por cada voluntário, incluindo três repetições para um levantamento por minuto e duas repetições para quatro levantamentos por minuto,	Protocolo instrumental aprovado pelo Comitê de Ética Institucional e consentido por escrito por cada um dos participantes do experimento.	200 Hz	De acordo com dados de cinética em tempo real e de previsão, o levantamento de cargas de até 10 kg, da altura dos nós dos dedos até a altura dos ombros, a 1 levantamento por minuto, está dentro de um limite aceitável. Uma carga máxima de elevação de 10 kg pode ser sugerida para tarefas de elevação que não envolvam qualquer flexão da parte superior do tronco, independentemente da altura de elevação. Levantar uma carga de 10 kg durante a flexão causou carga excessiva na coluna vertebral, o que, de acordo com as recomendações do NIOSH, aumentou o risco de lombalgia. Um resultado importante e novo deste estudo é o fato de que as respostas cinéticas em tempo real corroboraram com as respostas cinéticas previstas em 2D. Isto indicou que, em situações de campo adversas, onde não é possível uma recolha de dados de movimento em tempo real, é possível tirar inferências válidas utilizando as imagens 2D dos trabalhadores durante a execução de uma tarefa específica.	Devido À consideração de poucos indivíduos para o estudo, é possível recomendar ou fazer quaisquer normas de elevação para a população atual, uma vez que mais é necessário estudar mais assuntos em linhas semelhantes.	-

Autor, ano	Título	País/Região	Campo de aplicação	Perguntas de pesquisa/Objetivos	Metodologia															Principais resultados	Limitações	Vieses detetadas
					Período de tempo	Laboratório	Extensão do experimento	População	Amostra	Tipo de seleção	Género	Mão dominante	Software/ Algoritmo/ Técnica estatística/ Métodos/ Ferramentas	Variáveis (medidas)	Equipamentos	Modelo ergonómico	Resumo do ensaio	Aprovação do protocolo experimental	Taxa de amostragem			
Ding Z, Li W, Ogunbona P, Qin L 2019	A real-time webcam-based method for assessing upper-body postures	USA	Biomechanics	Utilização de técnicas de visão computacional para fornecer um método que facilite uma avaliação em tempo real, de baixo custo e de longo período da postura da parte superior do corpo.	-	-	-	Pessoas com idade entre 24 e 30 anos, com diferentes tamanhos corporais e usos e estilos de cabelo.	11	-	9 homens e 2 mulheres	-	MATLAB Classificador SVM (classificação da postura) Detecção espectral de saliência residual (SRSD) Histograma de gradiente orientado (HOG, V-WHOG e EWHOG) Vídeo Mapas de profundidade	(Ângulos das articulaçõe s) Abdução do braço Flexão lateral do pescoço Flexão do tronco Flexão do pescoço	2 Câmaras Kinect V2	RULA	Realização de 30 posturas em orde aleatória com transição livre e arbitrária de uma postura para outra e repetidas 3 vezes. Para captura de dados visuais foi foi posicionada 1 câmara na frente do sujeito capturando a visão frontal e outra colocada de lado capturando a visão lateral.	-	-	Método proposto é uma abordagem promissora e viável para avaliação postural instantânea e em tempo real, embora existam muitos locais para melhorar a confiabilidade e precisão da avaliação, incluindo mapas de peso aprimorados, emprego de valores de profundidade na avaliação e uso das informações capturadas pela câmara lateral e aproveitamento das informações temporais capturadas em vídeo.	ruídos dos ambientes, não considera a correlação temporal em quadros consecutivos e uso de recursos, HOG e WHOGs.	-
Alsubaie A, Martinez-Valdes E, De Nunzio A, Falla D 2021	Trunk control during repetitive sagittal movements following a real-time tracking task in people with chronic low back pain	UK	Ergonomics	Avaliação do controle do tronco usando uma tarefa de rastreamento 3D em tempo real que exige movimentos precisos do tronco enquanto varia a velocidade do movimento.	-	Centre of Precision Rehabilitation for Spinal Pain (CPR Spine)	-	População com e sem dor lombar crônica	11 assintomáticos e 15 com dor lombar crônica	Voluntários	-	-	Vicon Nexus	Ângulos de flexão e extensão da coluna lombar e torácica	8 câmeras optoeletrônicas de infravermelho sensores reflexivos	-	Utilização de um sistema de captura de movimento 3D e de um oftware específico para análise dos dados. Além disso, foram utilizados equipamentos de análise de movimento e possivelmente um modelo ergonômico para avaliar a biomecânica do tronco durante os movimentos repetitivos.	Comitê de Ética da School of Sport, Exercise & Rehabilitation Science	-	1. Atraso no rastreamento do movimento do tronco em tempo real: Indivíduos com dor lombar crônica apresentaram um atraso em relação aos participantes assintomáticos no rastreamento do feedback em tempo real do movimento do tronco. 2. Associação entre variabilidade do movimento da coluna lombar e medo de movimento: Em indivíduos com dor lombar crônica, a extensão da variabilidade do movimento da coluna lombar foi associada ao grau de medo de movimento quando a tarefa de rastreamento foi realizada em baixa velocidade. 3. Precisão semelhante de rastreamento entre indivíduos assintomáticos e aqueles com dor lombar crônica: Tanto pessoas assintomáticas quanto indivíduos com dor lombar crônica exibiram comportamento antecipatório, mas a resposta daqueles com dor lombar crônica foi consistentemente atrasada em relação ao feedback visual em comparação com o grupo assintomático.	Tamanho da amostra, avaliação apenas a uma tarefa, não avalia outras variáveis e condições de dor lombar e não avalia outras condições do tronco.	-

Autor, ano	Título	País/Região	Campo de aplicação	Perguntas de pesquisa/Objetivos	Metodologia															Principais resultados	Limitações	Vieses detetadas
					Período de tempo	Laboratório	Extensão do experimento	População	Amostra	Tipo de seleção	Género	Mão dominante	Software/ Algoritmo/ Técnica estatística/ Métodos/ Ferramentas	Variáveis (medidas)	Equipamentos	Modelo ergonómico	Resumo do ensaio	Aprovação do protocolo experimental	Taxa de amostragem			
Rodrigues P, Xiao Y, Fukumura Y, Awada M, Aryal A, Becerik-Gerber B, Lucas G, Roll S 2022	Ergonomic assessment of office worker postures using 3D automated joint angle assessment	USA	Ergonomics	Criação de método automatizado de avaliação ergonômica, o 3D Automated J oint Angle A ssessment, 3D-AJA, que usa uma câmara Kinect e algoritmos de visão computacional para calcular os ângulos articulares dos membros superiores dos trabalhadores de escritório e seu risco postural associado com base na conversão para uma pontuação RULA tanto em condições sentadas quanto em pé em diversas configurações de estação de trabalho.	-	-	-	Pessoas sem quaisquer distúrbios musculoesqueléticos conhecidos ou limitações de amplitude de movimento da parte superior do corpo. Todas as pessoas eram usuárias intensas de computador.	20	-	12 homens e 8 mulheres	19 destros e 1 canhoto	MATLAB Kinect SDK Algoritmo Synthetic Minority Oversampling TEchnique (SMOTE) Erro médio absoluto (MAE) Correlação de Pearson ® testes t	(Ângulos das articulações) Flexão do ombro Abdução do ombro Flexão do cotovelo para ambos os lados esquerdo e direito do corpo	1 Goniómetro de 12 polegadas 1 3D-AJA (multiplexador de vídeo) 1 Câmara Microsoft Kinect	RULA	Primariamentente deu-se uma observação de uma hora teve seis condições de 10 minutos, incluindo (a) sentado – autosselecionado, (b) sentado – ideal, (c) sentado – ruim, (d) em pé – autosselecionado, (e) em pé – ideal, (f) posição – ruim e d de seguida, durante a segunda hora, os participantes puderam ajustar a estação de trabalho para qualquer posição de sua preferência. Os participantes foram selecionados aleatoriamente para começar sentados ou em pé nas três primeiras configurações antes de alternar para a posição oposta nas três condições finais. Cada conjunto de três condições começou com a configuração auto selecionada, seguida pelas condições ideais e ruim. Foram realizadas 10 medidas de goniometria manual, primeiro após a configuração auto-selecionada, depois no início e na conclusão das condições ideais e ruins. Em cada momento, os participantes foram solicitados a manter uma postura estática enquanto as medidas goniométricas eram obtidas para flexão de ombro (FS), abdução de ombro (SA) e flexão de cotovelo (FE) nos braços esquerdo e direito. Durante a segunda hora, as medidas manuais de goniometria foram realizadas uma vez a cada 15 minutos, totalizando 4 medidas adicionais. Os três ângulos articulares nos lados esquerdo e direito foram medidos 14 vezes para cada participante, resultando em um total de 1.680 medições individuais em todos os participantes, condições e articulações.	-	-	Os resultados mostraram que, em comparação com as medidas da goniometria, os ângulos articulares calculados pelo nosso algoritmo apresentam MAEs de 6,3° ± 5,7° para flexão do ombro, 5,6° ± 5,1° para abdução do ombro e 8,5° ± 8,1° para flexão do cotovelo. O 3D-AJA superou o método de captura da articulação corporal Kinect SDK para estimar todos os três ângulos selecionados, com diferenças significativas em termos de flexão do ombro e ângulos de flexão do cotovelo. Em termos dos modelos de classificação resultantes para a determinação da pontuação A do RULA, o conjunto de dados do 3D-AJA resultou em melhores modelos de classificação para todas as classes de pontuação A do RULA incluídas nos conjuntos de dados.	Existência de momentos em que os segmentos superiores do corpo ficaram auto-ocluídos, reduzindo assim o desempenho do algoritmo. Necessidade de instalação de uma câmara Kinect em cada estação de trabalho pode não ser viável. Necessárias mais horas de monitoramento e avaliação postural para examinar completamente a precisão do algoritmo. Tamanho da amostra reduzido Estudo incidiu apenas no posicionamento dos ombros e braços. Uso de câmaras no local de trabalho.	Depois de verificados os ângulos de goniometria observados e as imagens RGB correspondentes no mesmo período, 11 medições foram eliminadas da análise devido à incompatibilidade e às grandes discrepâncias óbvias entre as imagens RGB e as medições de goniometria correspondentes.
Liu P, Chang C 2022	Simple method integrating OpenPose and RGB-D camera for identifying 3D body landmark locations in various postures	USA	Ergonomics	Método alternativo de rastreamento de movimento para localizar pontos de referência corporais em 3D.	-	-	-	-	30	-	-	-	OpenPose Estereoscópico tempo de voo (ToF)	-	2 câmaras RealSense ™ D435i RGB-D 1 sensor RGB de 1920 × 1080 pixels 1 sensor de profundidade (resolução de profundidade estéreo ativa de 1280 × 720 pixels, até 90fps) 1 câmara Kinect™ v2 RGB-D Marcadores corporais	-	Análise a 15 posturas realizadas pelos participantes.	-	-	Propõe e valida um método simples para obter localizações de marcos corporais em 3D usando OpenPose integrado a uma câmara RGB-D. A precisão do método proposto para identificar locais de referência em todo o corpo diferiu em 15 posturas estáticas. Dois tipos diferentes de câmaras RGB-D (estereoscópica e ToF) foram examinados e comparados.	-	-
Anagnostopoulos C, Arvanitis G, Piperigkos N, Lalos A, Moustakas K 2023	A Multi-stereo Camera System for Improving Physical Ergonomics in Human-Robot Collaboration Scenarios	Greece	Ergonomics	Sistema de câmaras multiestéreo e novas abordagens de fusão distribuída que são executadas em plataformas de IA aceleradas, monitorando continuamente a postura dos operadores e auxiliando-os a evitar posturas desconfortáveis e inseguras, com base em suas características antropométricas e uma experiência real. Metodologia padrão de avaliação de risco de tempo.	-	-	-	-	-	-	-		Transformada Linear Direta (DTL) técnica Graph Laplacian Processing Sistema Operacional Robótico (ROS) Jetson TX2	Ângulos articulares	3 câmaras stereo	RULA	-	-	-	Utilização de três câmaras estéreo para cobrir a área mais visível do espaço de trabalho, de modo a aumentar a possibilidade de se ter uma boa captura da pose do operador, com a direção mais adequada, no pelo menos de uma das câmaras, enquanto o operador se move em diferentes direções e posições. Cada câmara estéreo é usada para extrair os pontos de referência 3D do operador para a estimativa de altura e para calcular o estado antropométrico atual (com base na pontuação RULA [L1]), em tempo real.	-	-

Apêndice II

Código MATLAB de cálculo da massa recomendada (m_R) e do índice de elevação (LI).

>>

```
RAC = rand(2000, 3); % ombro direito ao longo do tempo
LAC = rand(2000, 3); % ombro esquerdo ao longo do tempo
RASIS = rand(2000, 3); % quadril direito ao longo do tempo
LASIS = rand(2000, 3); % quadril esquerdo ao longo do tempo
% Número de instantes de tempo
num_frames = size(RAC, 1);
% Verificar n.º de frames
if num_frames < 1526
error('O número de frames deve ser pelo menos 1526');
end
% Inicializar vetor para armazenar os ângulos
theta_deg = zeros(num_frames, 1);
% Calcular o ângulo para cada instante de tempo
for t = 1:num_frames
% Calcular os vetores dos ombros e dos quadris no instante t
V_s = LAC(t, :) - RAC(t, :); % vetor dos ombros
V_h = RASIS(t, :) - LASIS(t, :); % vetor dos quadris
% Calcular o produto escalar dos vetores
dot_product = dot(V_s, V_h);
% Calcular a norma (magnitude) dos vetores
norm_V_s = norm(V_s);
norm_V_h = norm(V_h);
% Calcular o CosTheta limitado entre -1 e 1
CosTheta = max(-1, min(dot_product/(norm_V_s*norm_V_h), 1));
% Converter o ângulo para graus
ThetaInDegrees = real(acos(CosTheta));
end
% Intervalo de frames desejado
```

```
start_frame = 1186; % frame inicial
end_frame = 1186;   % frame final
% Verificar se os frames estão dentro do intervalo válido
if start_frame < 1 || end_frame > num_frames || start_frame > end_frame
error('Intervalo de frames inválido');
end
% Extrair os ângulos do intervalo de frames desejado
angles_interval = theta_deg(start_frame:end_frame);
% Criar uma tabela com os ângulos extraídos
T = table((start_frame:end_frame)', angles_interval, ...
'VariableNames', {'Frame', 'Angle_Degrees'});
% Exibir a tabela
>> disp(T);
   Frame    Angle_Degrees
   _____    _____________
   1186          0
>> % Valor da massa de referência (Mref)
Mref=25;
% Valor do multiplicador da distância horizontal (hM)
h=(((0.3853-0.0608)+(0.4565-0.0518))/2);
if h <= 0.25
 hM = 1; % Quando h <= 0.25, hM = 1
disp(['h <= 0.25, então hM = 1. hM = ', num2str(hM)]);
elseif h > 0.63
hM = 0; % Quando h > 0.63, hM = 0
disp(['h > 0.63, então hM = 0. hM = ', num2str(hM)]);
else
hM = 0.25 / h; % Quando 0.25 < h <= 0.63, hM = 0.25/h
disp(['0.25 < h <= 0.63, então hM = 0.25/h. hM = ', num2str(hM)]);
end
0.25 < h <= 0.63, então hM = 0.25/h. hM = 0.68568
```

```
>> % Valor do multiplicador da localização vertical (vM)
v=((0.9296+0.8923)/2);
if v>1.75
vM= 0; % Quando v>1.75, vM = 0
disp(['v  > 1.75, então vM = 0. vM = ', num2str(vM)]);
elseif v<0
vM=0; % Quando v<0, vM=0
disp(['v<0, então vM = 0. vM = ', num2str(vM)]);
else
vM=1 - 0.3 * abs(0.75 - v); % Quando 0 < v < 1.75, vM = 1 - 0.3 * abs(0.75 - v)
disp(['0 < v < 1.75, então vM = 1 - 0.3 * abs(0.75 - v).vM=',num2str(vM)]);
end
0 < v < 1.75, então vM = 1 - 0.3 * abs(0.75 - v).vM=0.95171
>> % Valor do multiplicador do deslocamento vertical (dM)
d=(((0.9199-0.2442)+(0.9018-0.2489))/2);
if d>1.75
dM=0; % Quando d>1.75, dM=0
disp(['d  > 1.75, então dM = 0. dM = ', num2str(dM)]);
elseif d<0.25
dM=1; % Quando d<0.25, dM=1
disp(['d  < 0.25, então dM = 1. dM = ', num2str(dM)]);
else
dM=0.82+(0.045/d); % Quando 0.25 < d < 1, dM = 0.82+(0.045/d)
disp(['0.25 > d > 1, então dM = 0.82+(0.045/d).dM=',num2str(dM)]);
end
0.25 > d > 1, então dM = 0.82+(0.045/d).dM=0.88774
>> % Valor do multiplicador da assimetria (AlfaM)
Alfa=0;
>> AlfaM=1-(0.0032*Alfa);
>> disp(['O resultado da expressão é: ', num2str(AlfaM)]);
O resultado da expressão é: 1
```

```
>> % Valor do multiplicador do acoplamento para a qualidade da pega (cM)
cM= 0.95;
>> % Valor do multiplicador de frequência (fM)
fM=0.84;
>> % Valor da massa recomendada (mR)
>> mR = Mref * hM * vM * dM * AlfaM * cM * fM;
% Exibir o resultado
>> disp(['O valor de mR é: ', num2str(mR)]);
O valor de mR é: 11.5574
>> % Valor do índice de elevação (LI)
mA = 3; % Massa real levantada (mA)
>> LI = mA/mR;
>> % Exibir o resultado
>> disp(['O valor de LI é: ', num2str(LI)]);
O valor de LI é: 0.25957
```

Apêndice III – Algoritmo de aplicabilidade da ISO 12295:2014.

